VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

Ф. А. БРЕДИХИН

ЭТЮДЫ О МЕТЕОРАХ

*



АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

КЛАССИКИ НАУКИ

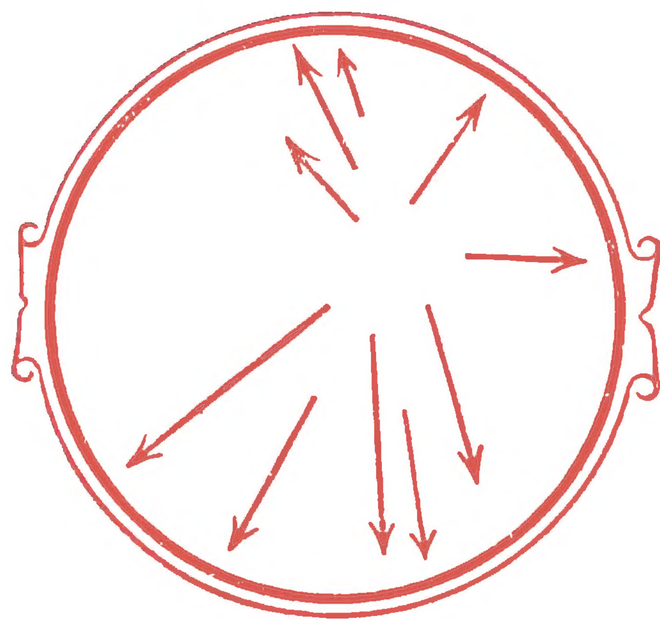


Ф. А. БРЕДИХИН

ЭТЮДЫ О МЕТЕОРАХ

*

СТАТЬЯ И КОММЕНТАРИИ А.Д.ДУБЯГО
РЕДАКЦИЯ С.В.ОРЛОВА



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА · 1954

СЕРИЯ «КЛАССИКИ НАУКИ».

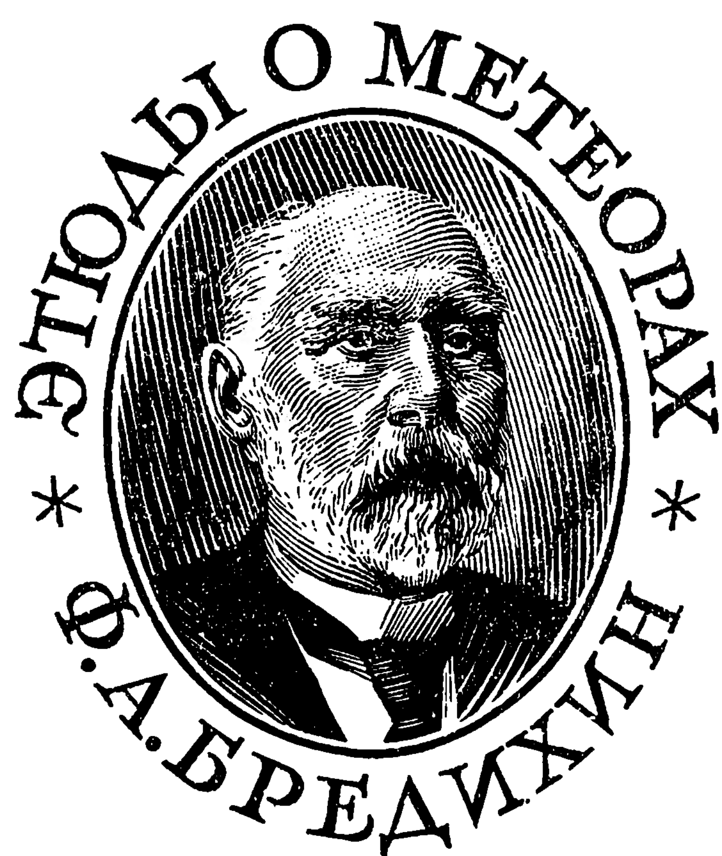
Основана академиком *С. И. Вавиловым*

Редакционная коллегия: академик *И. Г. Петровский* (председатель), академик *Н. Н. Андреев*, академик *К. М. Быков*, академик *Б. А. Казанский*, академик *А. И. Опарин*, академик *О. Ю. Шмидт*, академик *Д. И. Щербаков*, академик *П. Ф. Юдин*, член-корреспондент АН СССР *Х. С. Коштоянц*, член-корреспондент АН СССР *А. М. Самарин*, член-корреспондент АН СССР *А. А. Максимов*, доктор географических наук *Д. М. Лебедев*, доктор химических наук *Н. А. Фигуровский*, кандидат философских наук *И. В. Кузнецов*, кандидат исторических наук *Д. В. Огнобишин* (ученый секретарь)

Ответственный редактор издания

член-корреспондент АН СССР

С. В. Орлов


ЭТЮДЫ О МЕТЕОРАХ
Ф.А.БРЕДИХИН

ЭТЮДЫ
О ПРОИСХОЖДЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ МЕТЕОРОВ И ОБРАЗОВАНИИ ИХ ПОТОКОВ



Систематическое изложение всех моих заметок о метеорах заняло бы у меня много времени. Я предпочитаю поэтому просто перепечатать эти заметки в хронологическом порядке, сделав некоторые поправки. Я полагаю, что эта публикация может оказаться в некоторых отношениях довольно удобной для читателя, потому что в ней он сможет увидеть последовательное развитие идей автора.

Бредихин.

Священной памяти
любимой жены и любимого сына
благоговейно посвящает
автор

ПРОИСХОЖДЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ МЕТЕОРОВ

Те, у кого хватит терпения перелистать «Annales de l'Observatoire de Moscou», увидят там, что я возвращался от времени до времени к мысли, что образование *аномальных* ком (направленных к Солнцу) представляет собой самый процесс перехода части кометного вещества в рой метеоров. На этот счет можно посмотреть следующие выпуски «Annales»: 1877, т. III, кн. 1, стр. 41; 1879, V, 2, стр. 59—60; 1881, VII, 2, стр. 62—63; 1883, IX, 2, стр. 72, где я излагаю точные формулы для вычисления орбит *телец*, составляющих аномальные комы (хвосты)[1], и прилагаю их к комете 1882 II; 1884, X, 1, стр. 93.

В 1885 г. («Annales», série 2, I, 1) эти формулы прилагаются, между прочим, к аномальному хвосту параболической орбиты кометы 1844 г. Я указываю, что тельца, выброшенные под известным углом с радиусом-вектором и находящиеся на оконечности этой комы, двигались средним числом по эллиптической орбите, с большою полуосью $A = 7.4$ (единица есть расстояние Земли от Солнца) и со временем обращения $T = 20$ лет.

1

Аномальные комы, которых насчитывается восемь случаев, по большей части едва видимые, состоят, по моим исследованиям, из *телец*, сравнительно очень больших и очень весомых, которые не могут поэтому быть увлечены в хвост нормальный. Эти тельца движутся под действием обыкновенной ньютоновской

силы, но получают только *импульс, толчок* в сторону к Солнцу от тех излияний, которые устремляются в нормальный хвост (кому) под действием *отталкивательной* силы, более или менее значительной [2].

Во многих кометах эти истечения могут действовать на тельца, не производя каждый раз аномального придатка, достаточно плотного и достаточно светлого для того, чтобы он мог сделаться доступным наблюдению. Видимость является здесь обстоятельством случайным, зависящим от обилия в извержении таких частиц, и нужно допустить, что извержения этого рода представляют более частый и более общий процесс, имевший место, при известных условиях, во *множестве* комет, которые в прошедшем проходили вблизи от Солнца.

Таким образом, не только аномальные хвосты, но и вообще извержение, выбрасывание *частиц* в сторону к Солнцу, может быть рассматриваемо как источник падающих звезд.

Легко показать вычислением, что извержения, происходящие даже от параболической кометы (с параболической орбитой), могут породить метеорические потоки с годичным повторением. Для этого следует рассмотреть внимательно свойства орбит телец, получивших в определенной точке параболической орбиты ядра *толчки*, импульсы данной числовой величины. Ясно заранее, что эти орбиты будут вообще эллипсисами или гиперболами, так как парабола явится лишь частным случаем. Но гиперболические пути уводят частицы в бесконечность пространства, и они, таким образом, становятся чуждыми нашему вопросу; нам, следовательно, остается рассмотреть тот случай, когда парабола ядра преобразуется в эллипсис.

Чтобы установить точку зрения, возьмем некоторую среднюю, так сказать, комету, перигельное расстояние которой $q = 0.5$.

Пусть направление извержения составляет с радиусом-вектором ядра угол J, положительный позади радиуса-вектора, по направлению его движения, и отрицательный впереди радиуса-вектора.

Числовая величина импульса зависит от напряженности истечения к Солнцу хвостового вещества, и для начальной скорости этих истечений мы нашли следующие приближенные величины (см. Th. Brédikhine. Revision des valeurs numériques de la force répulsive, pp. 31—35[3]): для I типа число 0.22, колеблющееся от кометы к комете между: 0.1 и 0.34; для II типа число 0.05, с колебаниями от 0.03 до 0.07; для III типа начальная скорость находится между 0.01 и 0.02. *Величина $g = 0.1$ соответствует 2950 метрам в секунду.* Средняя из всех типов величина $g = 0.1$.

Естественно, кажется, допустить, что начальная скорость хвостовой материи не передается вся сполна тельцам, т. е. что для них числовая величина *толчка* j всегда менее g; но мы имеем сначала в виду соображения более *качественные*, чем количественные, и, следовательно, можем принять в отвлеченном вычислении $j = 0.1$.

Чтобы иметь возможность сделать некоторые сравнения, проведем вычисления также и для $j = 0.2$.

Вычисления производим с помощью следующих формул (см. Th. Bredichin. Memorie della Società degli spettroscopisti Italiani, 1883, vol. XII, pp. 4, 5)[4]:

$$H^2 = \frac{2}{r},$$

$$\beta = 90° - \frac{1}{2}v.$$

$$H_1^2 = H^2 + j^2 - 2Hj\cos(\beta - J). \qquad (1)$$

$$\sin\gamma = j\sin(\beta - J) : H_1. \qquad (2)$$

$$\beta_1 = \beta + \gamma. \qquad (3)$$

$$m = H_1^2 r. \qquad (4)$$

$$A = r : (2 - m);$$

$$T = A^{3/2}. \qquad (5)$$

$$P = m\sin^2\beta_1 \cdot r. \qquad (6)$$

$$E^2 = (A - P) : A. \tag{7}$$

$$\cos V = (P - r) : rE. \tag{8}$$

$$Q = P : (1 + E). \tag{9}$$

$$V - v = \Psi. \tag{10}$$

Здесь:

v — истинная аномалия ядра в момент извержения; она *отрицательна* до прохождения ядра через перигелий;

r — радиус-вектор ядра;

β — угол этого r с касательной к орбите;

H — касательная скорость ядра;

V — угол между радиусом r и осью метеорной орбиты; он *отрицателен* до прохождения ядра через перигелий;

Q — перигельное расстояние метеора;

P — полупараметр метеорной орбиты;

E — эксцентриситет этой орбиты;

A — ее большая полуось;

T — время обращения метеора около Солнца, выраженное в годах;

Ψ — угол между осями орбит метеора и ядра; он *отрицателен*, когда перигелий метеора впереди перигелия ядра в направлении орбитного движения.

Когда орбита ядра сама *эллипсис*,

$$H^2 = \frac{2}{r} - \frac{1}{a},$$

где a — большая полуось этого эллипсиса. Для вычисления угла β радиуса-вектора с касательной в эллипсисе, сперва найден угол σ касательной с осью xx:

$$\operatorname{tg} \sigma = -\frac{b^2}{a^2} \frac{x}{y},$$

где

$$x = r \cos (180^\circ - v) - ae,$$

$$y = r \sin (180^\circ - v),$$

$$b^2 = a^2 (1 - e^2).$$

С помощью заданного a находим b и с помощью r и v вычисляем x, y и σ, после чего имеем[1]:

$$\beta = 180° - (\sigma + v).$$

Приложим теперь эти формулы к нашей средней параболической орбите и вычислим орбиты частиц для различных углов J между $+45°$ и $-45°$.

Ясно, что до перигелия ядра, до известной величины аномалии, все орбиты частиц будут гиперболами[5]; поэтому начнем вычисления с перигелия и сделаем их для пяти точек орбиты, где величины r суть: 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.50, т. е. на таком протяжении орбиты, где могут быть извержения. Для величины импульса $j = 0.2$ мы вычислили три точки, где $r = 0.75$, 1.00 и 1.25.

Результаты вычислений представлены следующими таблицами:

I

$j = 0.1$

J	A	T	Q	P	Ψ
		1) $r = 0.5$	$v = 0$		
+ 45°	3.666	7.02	0.499	0.929	+ 6°.4
+ 30	5.263	12.07	0.499	0.950	+ 6.2
+ 20	7.886	22.15	0.499	0.966	+ 6.0

Для углов J от $+1°.4$ до $-45°$ орбиты будут гиперболами.

J	A	T	Q	P	Ψ
		2) $r = 0.75$	$v = +70°31'.7$		
+ 45°	3.201	5.74	0.485	0.897	+ 6°.1
0	5.601	13.26	0.525	1.000	— 2.1
— 20	13.165	47.77	0.531	1.040	— 4.3

Углы J от $-33°.5$ до $-45°$ дают уже гиперболы.

J	A	T	Q	P	Ψ
		3) $r = 1.00$	$v = +90°$		
+ 45	3.665	7.02	0.461	0.864	+ 9°.0
0	5.263	12.07	0.526	1.000	0.0
— 20	6.287	15.77	0.531	1.016	— 1.0

[1] Или иначе: $\operatorname{tg} \beta = \frac{1 + e \cos v}{e \sin v}$.

От $J = -43°$ до $J = -45°$ получаются гиперболы.

4) $r = 1.25$ $v = +101°32'.2$

+ 45°	4.138	8.42	0.439	0.831	+10°.5
0	5.379	12.48	0.526	1.000	+ 1.3
— 20	8.375	24.24	0.540	1.044	— 1.4
— 45	64.766	521.23	0.595	1.185	— 8.5

5) $r = 1.50$ $v = +109°30'$

+ 45°	4.59	9.9
0	5.60	13.2
— 20	8.22	23.6
— 45	34.35	201.3

II

$j = 0.2$

J	A	T	Q	P	ψ
		1) $r = 0.75$[6]			
+ 45°	1.656	2.13	0.465	0.799	+14°.2
0	2.967	5.11	0.551	1.000	— 4.7
— 20	7.579	20.87	0.574	1.105	—11.4

Для J от —31°.7 до —45° орбиты будут гиперболами.

2) $r = 1.00$

+ 45°	1.902	2.62	0.404	0.737	+19°.6
0	2.278	4.63	0.556	1.000	0.0
— 20	5.023	11.26	0.607	1.141	— 9.3

Для J от —40°.9 до —45° орбиты тоже гиперболы.

3) $r = 1.25$

+ 45°	2.158	3.17	0.371	0.678	+22°.0
0	2.842	4.79	0.554	1.000	+ 2.8
— 20	4.570	9.77	0.633	1.178	— 7.7
— 45	92.115	884.09	0.695	1.385	—17.8

Рассмотрение чисел этих таблиц ведет нас к следующим соображениям: для каждой точки орбиты ядра, на взятом

выше протяжении ее, в плоскости орбиты получается целый ряд эллиптических орбит, пересекающихся в этой точке. Эллиптические орбиты располагаются известным образом около орбиты параболической производящей (рис. 1) и различаются одна от другой, между прочим, временами обращения. Последовательность этих времен такова, что спустя несколько лет после прохождения ядра через перигелий Земля, проходя через точку орбиты, где $r = 1$, может уже встречать здесь каждый год рой частиц, возвращающихся к этой точке. Для точки 3, например, имеется такой ряд времен: 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 ..., а потом 2(7), 2(7.5), 2(8), 2(8.5), 2(9), 2(9.5), 2(10), 2(10.5), 2(11), 2(11.5), ..., 3(7), 3(7.33) ... [7]. Другими словами, последовательность времен обращения *заключает в себе* возможность ежегодных встреч Земли с метеорами, выброшенными кометой, которая, быть может, давно уже удалилась на бесконечность от Солнца по своему параболическому пути. Такая бесконечная годовая периодичность отнюдь не требует для углов J пределов $\pm 45°$; она будет иметь место и для пределов, гораздо более тесных, например $\pm 20°$ и т. д. Подобная же периодичность представится для частичек, выброшенных в точках 5, 4, 2, 1 и наконец, для всего множества точек, лежащих между теми, которые были взяты в нашем вычислении. Парабола ядра и эллипсисы частиц нанесены на рис. 1, где точки 1, 2, 3, 4, 5 обозначены буквами a, b, c, d, e; противоположные точки, с аномалиями v — 180°,— буквами b', c', d', e'.

Извержение не имеет вида плоского веера в плоскости орбиты, но скорее есть *конус*, а следовательно, производные орбиты, исходящие из данной точки параболы, лежат не только в плоскости параболы, но в различных плоскостях, имеющих к ней всевозможные наклонения в пределах, зависящих от пределов величин j и J.

Все эти плоскости пересекают плоскость параболы по радиусу-вектору точки исхода. Таким образом, каждая точка орбиты ядра производит целый кольцевой пучок эллиптических

орбит, поперечные сечения которого суть более или менее растянутые эллипсисы, представляющие своими большими осями ширину пучка, а малыми осями — *толщину* его в различных местах. Другая точка извержения на орбите ядра дает в свою очередь другое подобное кольцо и т. д., и кольца всех точек образуют, наконец, целое кольцо. Идея этого кольца может быть материализована с помощью многих кольцевых пучков из проволоки, надлежащим образом прикрепленных их точками расхождения к металлическому стержню, изогнутому параболой.

Наклонение x между плоскостью орбиты, произведенной извержением в плоскости, перпендикулярной к плоскости орбиты ядра, и этой последней определится формулой [8]:

$$\sin x = \frac{j \sin J}{H_1}. \qquad (11)$$

Величина $2x$ представляет, очевидно, пределы расхождения орбит, наиболее наклоненных к плоскости параболы, и служит для оценки толщины кольцевого пучка в разных местах и, следовательно, толщины целого кольца. Наблюдения, сколько-нибудь точные, могли бы даже дать величину j. Но какова точность положений радиантов? Это мы знаем очень хорошо.

Чтобы составить представление о толщине кольца, положим $J = \pm 45°$; затем со значением, например, $j = 0.1$ и H_1 немного больше единицы мы будем иметь линейную меру кольца — через 58 дней после извержения — равной 0.14, или 2.8 млн. географич. миль; для $j = 0.2$ толщина будет 0.28, или 5.6 млн. географич. миль [9]. Чтобы пересечь эту последнюю толщину, Земля должна употребить 16 дней; более или менее косое прохождение увеличит это число.

Угол $2x$ дает также для каждого частного случая представление о протяженности площади радиации и вообще показывает нам, что эта площадь может захватывать несколько градусов на небе.

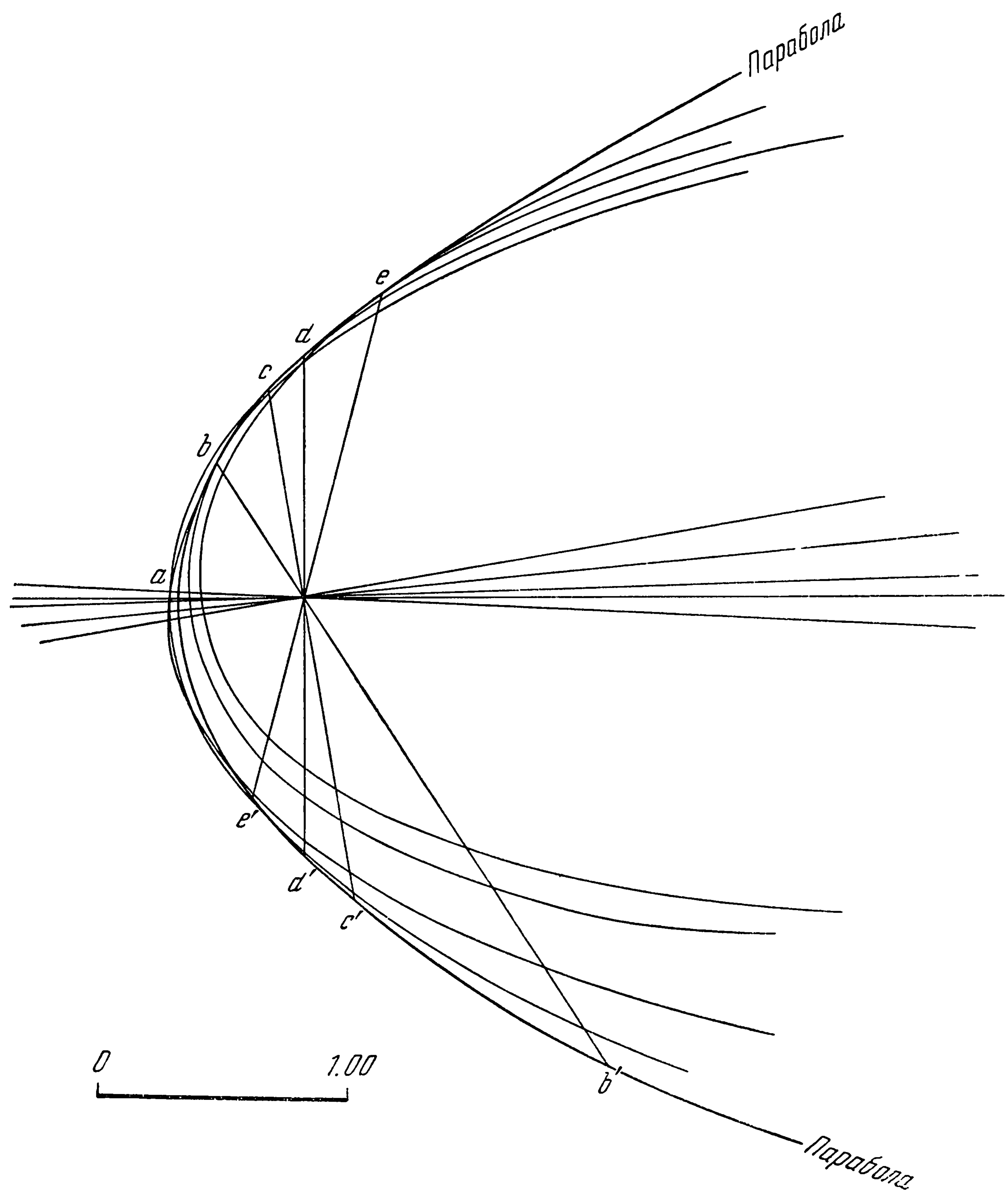


Рис. 1

Орбита, вышедшая из данной точки параболы, при аномалии v, пересекает еще раз плоскость этой параболы на линии продолженного через Солнце радиуса-вектора и на аномалии 180° — v (взятой с положительным знаком). Рассмотрим точку 2 (табл. II) или b (рис. 1), где $r = 0{,}75$ и $v = +70°31'.7$. Возьмем эллипсис, соответствующий $J = 0$; для точки, противоположной точке b и лежащей на линии bb', параболическая аномалия, взятая положительно, будет $109°28'.3$ и $r = 1.50$; для получения отсюда аномалии эллиптической нужно вычесть $\Psi = -2°6'.3$. Получим $v = 111°34'.6$ при $r = 1.50$. Таким образом, для $J = 0$ парабола пересекает эллипсис в этой точке.

Для значения $J = +45°$ будет $\Psi = +6°8'.5$, и, следовательно, эллиптическая аномалия будет: $103°19'.8$ при $r = 1.115$, меж тем как для параболы $r = 1.500$ и разность составит 0.385; эллипсис проходит тут внутри параболы. Для значения $J = -20°$ мы находим $r = 1.696$ с разностью 0.196; тут эллипсис проходит вне параболы. Ширина пучка между этими двумя эллипсисами равна 0.58. Эта же ширина между эллипсисами для значений J, равных +20° и —20°, составит 0.39. Поэтому не удивительно, что Земля встречает иногда метеорные потоки, проходя на довольно значительном расстоянии от пути какой-нибудь кометы. Подобный случай имеет место, как кажется, для кометы 1858 V.

Возьмем еще точку, например 4(d), в которой $r = 1.25$, $v = 101°32'.2$. Противоположная точка d' будет иметь параболическую аномалию, равную $78°27'.8$ и $r = 0.833$; для $J = 0$ эллипсис будет иметь здесь общую точку с параболой, как и вообще для всех точек, если $J = 0$ и $P = 1.0$.

Для $J = +45°$ получим $\Psi = +10°30'.0$ и эллиптическую аномалию, равную $67°57'.8$, откуда вытекает $r = 0.622$, то есть менее значения параболического радиуса-вектора на 0.211; для $J = -45°$ и $\Psi = -8°31'.0$ параболическая аномалия равна $86°58'.8$ и $r = 1.126$, что превосходит параболический радиус-вектор на 0.293.

Ширина пучка между этими двумя эллипсисами равна 0.50

Орбиты, составляющие кольцо метеоров, никоим образом не параллельны друг другу, в частности на том протяжении параболы, где она может быть пересечена Землей; следовательно, радиация метеоров никогда не сводится к одной точке неба, но, как мы уже заметили, она должна охватывать целую *площадь*, более или менее значительную. Эта площадь будет усеяна, так сказать, множеством точек радиации, происходящих от метеоров, направления движения которых в пучке линий весьма различных направлений параллельны внутри некоторых пределов .

Если более внимательно рассмотреть пересечение эллиптических орбит в частях параболы после перигелия и до перигелия, легко увидеть заметную разницу между этими частями. В первой из них орбиты пучка расходятся, выходя *из одной точки*, в которой они пересекают плоскость параболы; во второй — орбиты того же пучка пересекают плоскость параболы не в одной точке, но на отрезке прямой. Этот отрезок дает ширину пучка, и мы его уже вычислили для нескольких случаев. Предположим, что плоскость кометной орбиты и, следовательно, плоскость метеорного кольца перпендикулярны плоскости эклиптики. Сечение кольца с плоскостью эклиптики будет почти круговым в первой части параболы; оно же будет удлиненным эллипсисом во второй части, причем малая ось этого эллипсиса будет равна диаметру круга в первой части, а большая ось будет направлена по радиусу-вектору. Если наклонение не 90°, но заключается между 90° и 0°, круг в первом случае становится эллипсисом, а эллипсис во втором случае будет иметь малую ось все возрастающих размеров. Все изменения этих фигур могут быть выяснены для каждого частного случая, другими словами, для той или иной кометной орбиты, для того или иного J, и т. д.

Когда Земля встречает поток после перигелия ядра, тогда для достаточно краткого времени наблюдения, в сравнении с полной длительностью потока, площадь радиации будет иметь почти круглую форму, и круг увеличивается по мере

того, как Земля приближается к оси кольца, то-есть к самой орбите ядра; здесь диаметр площади радиации должен был бы дать величину $j \sin J$. Если нарисовать фигуру площади для всей продолжительности потока, он, естественно, получится наложением и помещением рядом подобных *частных кругов*.

В потоке до перигелия, также за время, довольно короткое сравнительно со всей продолжительностью потока,— наблюдатель будет иметь очень узкий эллипсис, удлиненный перпендикулярно к орбите и, стало быть, направленный своей большой осью к полюсу орбиты ядра[10]. Мы вернемся к этому интересному вопросу по поводу потока Андромеды (Биела). Для всей продолжительности фигура площади радиации расширится и, может быть, совсем изменится за счет помещения рядом этих удлиненных эллипсисов. В момент прохождения оси потока большая ось эллипсиса должна представлять величину $j \sin J$.

Когда орбита ядра — эллипсис, различие между двумя вышеизложенными случаями может ослабиться, так как извержения на точках этой орбиты до перигелия могут также порождать эллиптические орбиты метеоров.

Почти бесполезно добавлять, что скорости метеоров одного и того же потока не равны между собой, потому что каждый метеор следует по собственной эллиптической орбите, со своей большой осью и своим временем обращения.

Мы взяли в наших качественных исследованиях $j = 0.1$ и $j = 0.2$. Возможно, что одно и то же истечение хвостового вещества может действовать сильнее на меньшие частицы и менее энергично на бóльшие. Тогда в том же конусе извержения мы будет иметь несколько величин j, что усложнит построение орбит, но не ослабит основу наших рассуждений.

Разложение кометной массы на метеоры одной силой солнечного притяжения может произвести слой метеоров лишь очень малой толщины, который Земля пересекла бы за несколько минут, что противоречит наблюдению[11]. Следовательно, когда мы размышляем о трудности получить таким путем из параболических орбит эллиптические орбиты с умеренным

обращением, мы должны признать, что эта гипотеза не способна объяснить не только огромное множество потоков, но также и их главные свойства.

2

Вообразим теперь, что орбита производящей кометы есть эллипсис, и вычислим орбиты, происшедшие от извержений до и после перигелия ядра. Большая полуось орбиты пусть будет $a = 3.5256$ и время обращения $t = 6.6198$ (эти элементы принадлежат комете Биела). Примем первоначально $j = 0.1$ и вычислим орбиты для извержений, имевших место на расстоянии ядра от Солнца $r = 1$. Пусть пределы углов J будут теми же самыми, что и для параболической кометы, рассмотренной выше. Мы находим [12]:

J	A	T
$r = 1$	$v = -47°27'.1$	$\beta = 110°13'.8$
$+45°$	2.608	4.21
0	5.463	12.77
-45	27.988	148.07
$r = 1$	$v = +47°27'.1$	$\beta = 69°46'.2$
$+45°$	1.955	2.73
0	2.745	4.56
-45	6.103	15.08

Общие заключения тут остаются те же, что и для параболической кометы, но масштаб изменения осей и времен обращения здесь гораздо менее значителен. Притом и часть орбиты до перигелия уже принимает участие в образовании эллиптических орбит. Если мы стеснили бы пределы J и ограничились бы только $J = \pm 20°$, то заметили бы уже трудность заполнения целого кольца на всем его протяжении за умеренное время и с плотностью, достаточной для того, чтобы метеорные дожди повторялись с обилием, хоть сколько-нибудь одинаковым для каждого года.

Однако внешний вид комет с коротким периодом заставляет даже предпочитать интенсивность извержения меньшую, чем 0.1. Для величины $j = 0.02$ мы получим для той же самой эллиптической кометы:

$$r = 1, \qquad v = 0, \qquad J = 0.$$
$$A = 3.531, \qquad T = 6.634.$$

Продолжительность обращения уменьшилась на 5 дней.

$$r = 1, \qquad v = -47°27'.1.$$
$$A = 3.643, \quad T = 6.954.$$

Большая полуось стала больше на 0.117 и время обращения длиннее на 0.33, или на 4 месяца:

$$r=1, \qquad v = +47°28'.1.$$
$$A = 3.318, \quad T = 6.045.$$

Большая полуось стала меньше на 0.208, и время обращения сократилось на 0.575, или на 7 месяцев.

Наконец, с $j = 0.01$ мы получаем для извержения в перигелии:

$$A = 3.526, \qquad T = 6.6225;$$

иными словами, время обращения увеличилось на один единственный день.

Для $v = -47°27'.1$

$$A = 3.643, \qquad T = 6.954.$$

Для $v = +47°27'.1$

$$A = 3.418, \qquad T = 6.318.$$

В первом случае время обращения увеличилось на 0.33; во втором случае оно убыло на 0.30.

Рои, отделившиеся от кометной массы до перигелия, запаздывают все более и более в их обращении по отношению к ядру;

рои, выделившиеся после перигелия, напротив, при каждом обороте все более и более опережают ядро. При возвращении кометы к Солнцу повторяется тот же самый процесс, и, таким образом, при каждом обороте спереди и сзади кометы удлиняются *две* эллиптические дуги, содержащие метеоры (если извержения начинаются до перигелия). Можно с грубым приближением вычислить для различных величин j время, в течение которого все эллиптическое кольцо могло бы заполниться метеорами с довольно равномерным изобилием.

До тех пор, пока этот процесс не завершен, пустоты кольца могут содержать некоторое количество метеоров, происшедших от тех частных извержений, которые породили эллипсисы, частью имеющие — по разнообразию их времен обращения — тот характер, который мы уже изучили при преобразовании параболической орбиты. «Андромедиды наблюдались слабо, за исключением периодов их яркого проявления, и вовсе не достоверно, что они рассеяны вдоль полного эллипса, образующего орбиту кометы Биела» (Denning. Observatory, № 142, p. 400). Далее: «Поток Леонид непрерывен, хотя *никоим образом* не богат в местах, *далеких* от кометы-родоначальницы» (там же) [13].

Обильный ливень Леонид наблюдался в последний раз в 1866 г., 13.16 ноября, вблизи от точки перигелия, а прохождение кометы через перигелий произошло 11.16 января; следовательно, дуга, заполненная метеорами, должна охватывать угол истинной аномалии, соответствующий по меньшей мере 305 дням; однако этот поток известен на протяжении более 30 обращений кометы; таким образом, эта дуга еще длиннее на несколько десятков градусов [14]. Для этой кометы имеем: $a = 10.324$, $t = 33.176$, $e = 0.90542$. Для 305 дней находим среднюю аномалию $M = 9°3'.3$, эксцентрическую аномалию $E = 46°58'$ и, наконец, истинную аномалию $v = 126°$; как мы уже говорили, это есть минимум дуги, густо заполненной метеорами.

Числовые данные, представленные выше, могут служить основой для различных вероятных предположений о времени происхождения потока. В данный момент этот вопрос имеет для нас только второстепенное значение.

Процесс извержения может захватывать в том или ином случае весьма значительное количество вещества, отсюда произойдет разделение кометы на части, более или менее многочисленные и более или менее большие по сравнению с главной массой. Пример: ядро кометы 1882 г. Оно разделилось на несколько отдельных ядер, и два главных взрыва ясно проявились в коме двумя сгустками в форме облаков, — тщательно наблюденными Шмидтом,— движения которых мы изучили подробно (Th. Brédikhine. Revision des valeurs numériques de la force répulsive).

Комета 1823 г. испустила след из частиц, который был виден позади ядра. По положению этого следа, вычисленному мной, следует заключить, что извержения имели место после прохождения через перигелий и они направили частицы по эллиптическим траекториям, иначе говоря, потенциально превратили их в метеоры [15].

В комете Биела масса, отделившаяся или выделившаяся, была того же порядка, что и главная масса, и результирующее действие, проявившееся в орбитальном движении, было очень слабо. Действительно, *вторичная комета* при ее прохождении через перигелий в 1852 г. предшествовала главной комете на 16 часов, имея время обращения немного короче, чем сама комета. Мы видели, что для того, чтобы уменьшить время обращения на один день в орбите, равной орбите кометы Биела, достаточно получить у перигелия толчок, импульс со значением $j = 0.01$. Я отсюда заключаю, что вторичная комета во время прохождения через перигелий в 1839 г. получила подобный взрывной толчок, но еще более слабый, вследствие сравнительно значительной величины этой выделившейся массы [16].

Можно было бы вычислить импульсы, которые могли разделить комету 1882 II, по направлениям и относительным

расстояниям отделившихся ядер; однако столь специальное исследование отодвигается на задний план в том вопросе, который нас сейчас интересует, и мы к нему вернемся позже.

3

После этих общих теоретических соображений перейдем к изучению некоторых интересных явлений, представляемых метеорными потоками. Для объяснения этих явлений необходимо иметь формулы, по которым на основании координат точки радиации можно было бы вычислить положения потоков.

Пусть будут:

L — долгота апекса;

α и δ — прямое восхождение и склонение (видимые) радианта;

l и b — долгота и широта (видимые) этого радианта;

l' и b' — долгота и широта (истинные) радианта;

λ — долгота Солнца;

ε — видимая элонгация радианта;

ε' — его истинная элонгация;

D — отношение орбитальной скорости Земли к скорости метеоров;

i — наклонение метеорной орбиты к эклиптике;

s — угол касательной к метеорной орбите с радиусом-вектором;

θ — угол, который в точке апекса составляет с эклиптикой та плоскость, которая проходит через точки радиации, видимую и истинную;

π — долгота перигелия метеорной орбиты;

Ω — долгота восходящего узла этой орбиты;

$$\Omega = \lambda, \text{ когда } b \text{ положительно;}$$

$$\Omega = \lambda + 180^\circ, \text{ когда } b \text{ отрицательно.}$$

Имеем приблизительно $L = \lambda - 90^\circ$ и, если принять для метеоров параболическую скорость, $D = 0.7071$; ε никогда

не превосходит 180°.

$$\operatorname{tg}\theta = \operatorname{tg} b : \sin(l - L). \tag{12}$$

$$\sin\varepsilon = \sin b : \sin\theta, \tag{13}$$

или

$$\cos\varepsilon = \cos b \cos(l - L).$$

Синус ε всегда положителен, и, следовательно, знак $\sin\theta$ одинаков со знаком $\sin b$; $s < 180°$.

$$\sin(\varepsilon' - \varepsilon) = D \sin\varepsilon. \tag{14}$$

$$\sin b' = \sin\varepsilon' \sin\theta. \tag{15}$$

$$\sin(l' - L) = \operatorname{tg} b' : \operatorname{tg}\theta. \tag{16}$$

$$\cos s = \sin\varepsilon' \cos\theta. \tag{17}$$

$$\sin i = \sin\varepsilon' \sin\theta : \sin s, \tag{18}$$

или

$$\sin i = b' : \sin s.$$

Что касается до преобразования α и δ в l и b, то для него имеются стереотипные формулы:

$$\operatorname{tg} M = \operatorname{tg}\delta : \sin\alpha,$$
$$\operatorname{tg} l = \cos(M - \omega) \operatorname{tg}\alpha : \cos M,$$
$$\operatorname{tg} b = \operatorname{tg}(M - \omega) \sin l,$$

и для поверки:

$$\cos(M - \omega) \cos\delta \sin\alpha = \cos M \cos b \sin l;$$

ω — наклонение эклиптики.

$\sin M$ имеет знак $\sin\delta$,

$\cos M$ » » $\sin\alpha$.

Для обратного преобразования имеем:

$$\operatorname{tg} N = \operatorname{tg} b : \sin l,$$
$$\operatorname{tg}\alpha = \cos(N + \omega) \operatorname{tg} l : \cos N,$$
$$\operatorname{tg}\delta = \operatorname{tg}(N + \omega) \sin\alpha,$$

и для поверки:

$$\cos b \sin l \cos (N + \omega) = \cos \delta \sin \alpha \cos N.$$

$\sin N$ имеет знак $\sin b$,

$\cos N$ » » $\sin l$.

Предположим, что две метеорные орбиты одного и того же потока, с наклонениями i и i' пересекаются в точке m и образуют угол A; что расстояния точки m от соответственных узлов, пройденных Землей в моменты t и t', суть c и c' и что расстояние между узлами, или угол, описанный радиусом-вектором Земли, есть a. Тогда:

$$\cos A = \cos i \cos i' + \sin i \sin i' \cos a. \tag{19}$$

$$\sin c = \sin a \sin i' : \sin A. \tag{20}$$

$$\sin c' = \sin a \sin i : \sin A. \tag{21}$$

Те же формулы применяются в случае пересечения метеорной орбиты с орбитой производящей кометы. Положение точки m по отношению к эклиптике (к северу или к югу) и ее положение по отношению к перигелию кометы легко различаются каждый раз с помощью построения от руки кометной орбиты, метеорной орбиты и эклиптики[17].

4

Мы говорили выше о возможной *толщине* метеорных колец, указываемой моей теорией. Значительная толщина потока требует также значительного времени для того, чтобы Земля его пересекла. Действительно, наблюдения показывают, что многие потоки имеют поразительную длительность. Однако при определении этой длительности нужно всегда иметь в виду, что метеорные потоки очень многочисленны и что иногда несколько потоков могут настолько примыкать друг к другу, что наблюдения почти не в состоянии установить их границы. В подобном случае кажется, что поток длится два или три месяца. Если вопрос усложняется, то для большей уверенности

нужно внимательно изучить распределение радиантов и их взаимную близость.

Деннинг изучил распределение на небе известных радиантов (Monthly Notices of the R. Astronomical Society, vol. 47, pp. 35—39), и мы воспользуемся его исследованиями.

В 1886 г. он составил общий каталог всех метеорных потоков, отмеченных в различных изданиях по наблюдениям или вычислениям Бэкхауза, Бартфея, Кордера, Деннинга, Денца, Грега, Грубера, Гершеля, Хейса, Кобольда, Конколи, Кёвеслигети, Маджи, Неймайера, Сойера, Скиапарелли, Шмидта, Серпиери, Тэпмана, Вейсса, Цециоли и других.

Последний каталог Грега (1876) содержит 850 радиантов, выведенных из 15 000 метеоров. В 1886 г. имелось уже 3035 радиантов, выведенных из 82 000 метеоров! И это число растет из месяца в месяц!

Анализируя все эти положения, Деннинг нашел, что они показывают очень неравномерное распределение посреди созвездий.

По прямому восхождению 3035 радиантов распределены так:

Прямое восхождение	Радианты	Проценты	Прямое восхождение	Радианты	Проценты
1°— 30°	378	12.4	181°— 210°	147	4.8
31 — 60	449	14.8	211 — 240	186	6.1
61 — 90	315	10.3	241 — 270	217	7.2
91 — 120	229	7.6	271 — 300	254	8.4
121 — 150	192	6.3	301 — 330	243	8.0
151 — 180	142	4.7	331 — 360	283	9.3

Наибольшее обилие потоков приходится на промежуток между 1° и 60° прямого восхождения. Этот факт существует даже, если не учитывать кометные потоки Андромеды и Персея, которые падают в эту область и которые можно было бы рассматривать как причину этого особенного сгущения. Такое резко выявленное превышение между 1° и 60° должно быть приписано Кассиопеидам, α, β и γ Андромедидам, Ариети-

дам, Мускидам, α и β Персеидам, Тауридам и т. д., которые в сочетании с потоками Андромеды и Персея повышают общее число потоков до аномального значения.

Минимальное число потоков ясно обнаруживается между 150° и 210°.

По склонению потоки распределяются так:

Склонение	Радианты	Проценты	Склонение	Радианты	Проценты
90°— 81°	39	1.3	30°— 21°	392	12.9
80 — 71	141	4.7	20 — 11	335	11.0
70 — 61	243	8.0	10 — 1	211	6.9
60 — 51	473	15.6	0 — —9	127	4.2
50 — 41	489	16.1	—10 — —19	170	5.6
40 — 31	415	13.7			

Максимум находится между 60° и 41°. На распределение радиантов по склонению влияет различие площадей разных зон и сравнительная степень их видимости; к полюсу полное пространство, занимаемое зонами, сокращается все более и более, но это в значительной степени уравновешивается благоприятным положением для наблюдения. Так как почти все наши наблюдения падающих звезд произведены в местах с довольно значительными северными широтами (превосходящими 35°), то зоны между 41° и 90° всегда находятся целиком над горизонтами, и относящиеся к ним потоки наблюдаются во всякое время года и в любой момент ночи. Таким образом, две зоны между параллелями 60° и 41° содержат наибольшее число отмеченных потоков, а три следующие зоны показывают постепенное убывание их.

Изучая распределение потоков, говорит Деннинг, не нужно упускать из виду некоторые важные условия. В основной массе наблюдения были произведены в летние месяцы, и, следовательно, созвездия, видимость которых летом благоприятна, должны давать численное преобладание потоков. Деннинг обосновывает это соображение на сравнительных месячных числах для 82 156 отмеченных метеоров.

Месяцы	Метеоры	Проценты	Месяцы	Метеоры	Проценты
Январь	2804	3.4	Июль	10670	12.1
Февраль	1826	2.2	Август	30516	38.1
Март	1764	2.1	Сентябрь	4304	5.1
Апрель	5585	6.8	Октябрь	6840	8.3
Май	2120	2.6	Ноябрь	8319	11.3
Июнь	2353	2.9	Декабрь	4055	4.9

Итак, более половины общего числа наблюдений было сделано в июле и августе, в частности между 20 июля и 15 августа.

Большинство наблюдений было сделано до полуночи, и область между 31° и 60° прямого восхождения,— находящаяся в указанные месяцы или под горизонтом, или достаточно низко на северо-востоке,— в которой метеоры отмечены в преобладающем изобилии, оказалась богатой метеорами не благодаря обилию наблюдений, говорит Деннинг.

Кажется, месяцы сентябрь, октябрь и ноябрь дали в этой четверти неба наибольшее число радиантов по сравнению с числом отмеченных метеоров. Деннинг полагает, что чрезвычайное обилие потоков вокруг Андромеды, Овна и Персея реально, и далее заключает, что потоки показывают особую группировку: «Учитывая все обстоятельства, кажется, что нет больших неравномерностей в группировке по северному полярному расстоянию, подобных тем, которые, несомненно, встречаются по прямому восхождению, но этот пункт требует дальнейшего исследования»[18].

Быть может, чрезмерное обилие радиантов в окрестностях Андромеды, Персея и Овна частично произведено самими этими потоками, постоянно привлекающими внимание наблюдателей к этой интересной области неба и заставляющими открывать новые радианты в том случае, когда этим работам посвящается некоторое время *после* полуночи?

По отношению к кометам, являющимся *по существу тем же самым*, что и *метеоры*, часто полагают, что удалось доказать особенную группировку их перигелиев или же их узлов. Однако последняя работа Голечека (Astronomische Nachrich-

ten, 1888, № 2865. Uber die Richtungen der grossen Axen der Cometenbahnen) полностью показала обратное. Изучив элементы всех известных комет (310), он доказал, что тенденция больших осей кометных орбит к направлению в заданную сторону (к гелиоцентрическим долготам 270° и 90°), то есть к направлению, мало отличающемуся от направления движения солнечной системы, просто объясняется положением Земли в то время, когда открытия комет становятся наиболее частыми. Никакого другого вывода относительно собственного движения Солнца или внесолнечного происхождения комет из этой тенденции получить нельзя [19].

Вероятно, подобный вывод будет рано или поздно получен и для распределения метеорных потоков. В данный момент числовые величины, представленные Деннингом, интересуют нас с другой точки зрения, именно в отношении все нарастающего богатства потоков, их взаимной близости и возможности спутать их друг с другом.

Для зоны, заключенной между 40° и 50° по склонению, имеется 500 радиантов; если бы эти радианты были равномерно распределены по зоне, тогда в ее части, охватывающей 30° по прямому восхождению, имелось бы 42 радианта. Однако из таблицы распределения радиантов по прямому восхождению видно, что для зоны между 30° и 60° прямого восхождения процент от общего числа составляет 14.8, или почти вдвое больше среднего процента для всех остальных зон. Итак, вместо числа 42, нужно принять 80 для четырехугольника, заключенного между параллелями 40° и 50° и кругами склонения 30° и 60° и наиболее обильного радиантами. Этот четырехугольник содержит 300 квадратных градусов, или 75 малых четырехугольников, поперечные размеры которых будут равны 2°. Таким образом, на каждую из таких площадок в 2° приходится более *одного* радианта, с расстоянием его от соседних радиантов в 2° (по склонению и прямому восхождению). Радианты эти относятся к различным эпохам года; другими словами, ближайшими соседями потока, например, в мае могут

быть потоки в декабре, августе, марте и т. д. Если потоки вообще распределены более или менее равномерно по отношению к эпохам в году, тогда на площади в 10° по склонению и в 10° по прямому восхождению мы должны иметь 25 радиантов, соответствующих 24 полумесячным эпохам года.

Я беру 24 эпохи, предполагая, что средняя длительность потока составляет 2 недели. Другая, подобная площадь, соседняя с предыдущей, будет иметь то же самое содержание и т. д.; следовательно, *среднее* расстояние двух потоков в одну и ту же эпоху есть 10°. Каждый радиант согласно теории, подтверждаемой наблюдениями, не есть точка, но площадь, более или менее протяженная, охватывающая иногда несколько градусов: 3°—8° и даже более, и, таким образом, даже на среднем расстоянии двух радиантов (может быть, трех, четырех) эти радианты могут казаться соприкасающимися. Если случайно расстояние окажется ниже среднего, радианты более или менее смешаются. Итак, видно, какая трудность может встретиться в *индивидуализации* потоков [20].

Есть потоки, каждый из которых обладает собственным, более или менее ясно выраженным характером: в первую очередь это богатство метеорами (Персеиды, Леониды и т. д.), цвет этих метеоров, их блеск и т. д. Но в особенно богатом потоке, имеющем значительную длительность, эти индивидуальные качества могут не быть резко выражены в начале и конце появления. Тогда появляется опасность смешать этот поток с каким-нибудь другим.

Далее, возможно ли найти индивидуальные внешние физические особенности для всех этих тысяч потоков?

Здесь нужно иметь в виду одно очень важное обстоятельство. Мы скоро увидим, что по теории потоки должны — более или менее быстро, более или менее значительно — изменять свое положение между звездами. Это представляет собой еще одно очень серьезное препятствие для индивидуализации потоков, которые не отличаются друг от друга сколько-нибудь чувствительно по их внешним особенностям.

Может быть, мы впали в небольшое преувеличение, обратив внимание на область неба, наиболее богатую метеорами, но по нескольку раз в год мы видели в астрономических изданиях списки новых радиантов, открытых там и сям на небесном своде. Нет никакого сомнения, что в будущем каждая область неба будет *по крайней мере* так же богата метеорами, как область, рассмотренная выше, богата в настоящее время. Везде кишат радианты, которые только и ожидают, чтобы их открыли.

Итак, когда говорят об очень значительной длительности метеорного потока, это утверждение следует принимать лишь с большой осторожностью. Когда, например, утверждают, что появление Персеид начинается 25 июля и длится до 19 августа (26 дней), когда еще добавляют, что они начинаются даже раньше — 13 июля — и длятся до 22 августа (40 дней), и указывают как доказательство для первых и последних дней этого феномена появление одной падающей звезды за час в областях неба, довольно удаленных от максимума,— невозможно, чтобы не появились серьезные сомнения.

Я только что сказал: в областях весьма удаленных, так как радиант Персеид смещается, и это смещение должно захватить за 40 дней более 40° прямого восхождения. Неужели на этом пути или рядом с ним нет никакого другого радианта в ту же самую эпоху? Становишься еще более скептиком, когда слышишь, что утверждают, наоборот, существование *стоячих* радиантов, которые не смещаются на протяжении четырех, пяти, шести месяцев и еще более...

Очевидно, нужно иметь в этой области какую-то руководящую нить, и эта нить заключается в критериях теории, прилагаемых к данным, полученным из наблюдений. Когда дело касается толщины потока и его длительности, нужно принять во внимание положение производящей кометы и оценить расхождение метеорных орбит, зависящее от вероятных и допустимых значений породившего толчка (j) и от его направления (J).

Если производящая комета нам неизвестна, потому что она прошла через свой перигелий в незапамятное время, нам только остается построить с помощью наблюдений потока ее вероятную орбиту в допустимых пределах.

В настоящей записке мы ограничимся приложениями нашей теории к потокам, наблюдения которых дают большое число необходимых подробностей для решения важных вопросов о смещении радианта, о ширине и длительности потока, о форме площади радиации, а далее мы займемся интересными явлениями, встречающимися в других известных потоках. Я должен теперь сделать несколько выдержек, передающих мнения специалистов о ширине потоков и о трудности индивидуализирования радиантов[21].

Грег говорит (Monthly Notices, vol. 38, pp. 352—353): «В немалом числе случаев длительность даже была, казалось, два или три *месяца* без всякого особого перерыва. Но, исключая такие крайние случаи, так как они, повидимому, вызваны двумя различными потоками, как бы накладывающимися друг на друга (если в этих случаях имеется вероятность объединения двух потоков, какие пределы нужно приписать ширине, чтобы поток мог рассматриваться как отдельный, единственный? Очевидно, здесь широкое поле для произвола.— *Ф. Бр.*), мы рассмотрим *среднюю* длительность метеорных потоков, поскольку о ней можно судить по некоторым из главных каталогов. В последнем каталоге покойного проф. Хейса (1877) описано не менее 120 различных метеорных потоков, с положениями их радиантов для шести месяцев — с июля до декабря. Я нахожу *среднюю* продолжительность для каждого из них: 20.5 дней, причем число отмеченных метеоров было около 6000; я не делал никакого излишнего предпочтения Персеидам и Леонидам. Имеется 14 потоков, длящихся свыше 24 дней. Наблюдения простираются на период в 24 года. Средняя длительность 105 потоков (2300 метеоров), выведенная Деннингом из обработки итальянских наблюдений за июль — декабрь 1872 г., равна 24 дням. Собственные наблюдения Деннинга, обработан-

ные по 2170 метеорам в 1876—1877 г., дают в *среднем* 22 дня. Каталог д-ра Шмидта содержит 45 метеорных потоков продолжительностью приблизительно в 30 дней и более. В моем собственном каталоге, выведенном из 2000 метеоров, виденных в Англии в 1849—1867 гг., средняя длительность для 40 потоков за целый год составляет 33 дня, причем опущено 12 потоков продолжительностью свыше 54 дней, некоторые из которых в действительности, несомненно, представляют не один поток (здесь снова возникает вопрос: где же находятся пределы допустимой длительности для одного потока? — *Ф. Бр.*).

«Я думаю поэтому, что мы можем согласиться,— по крайней мере до тех пор, пока не будет доказано, что это неверно, — что *средняя* длительность метеорного потока, имеющего довольно постоянную площадь радиации, скажем от 3° до 8° в диаметре (а когда поток смещается, тогда эта площадь охватывает за всю длительность несколько десятков градусов.— *Ф. Бр.*), составляет не менее трех недель.

«Все же, так как некоторые из этих метеорных потоков длятся только *один* или *два* дня, будет не лишено смысла принять за максимальную длительность даже *шесть* недель; иначе говоря, метеорные потоки, поскольку это установлено, длятся от одного до 40 дней, по меньшей мере, и дают в большинстве случаев довольно неподвижный радиант на небе. Имеется заметное число случаев, в которых длительность кажется даже достигающей 50 или 60 дней, но это кажется столь удивительным, что для подтверждения требуются дальнейшие доказательства и продолжительные ночные наблюдения. Персеиды, как это хорошо известно, принадлежат к потоку, обладающему резким максимумом около 10 августа, но не столь хорошо известно, вероятно, что этот поток начинается в слабой степени около 25 июля и продолжается примерно до 17 августа, причем оканчивается он гораздо резче, чем начинается.

«Лeониды длятся несколько дней с резким максимумом только на несколько часов; Андромедиды длятся не более полусуток.

«Если, как мы показали, представляется очень вероятным, что средняя длительность метеорного потока (из которых в настоящее время известны по крайней мере 200 с орбитами, пересекаемыми Землей) составляет около *трех* недель, то нужно полагать, что значительное число потоков может показать длительность по крайней мере в 5 или 6 недель, если даже, в редких случаях, не больше.

«Капитан Тэпман ясно указал специальные условия для получения метеорного радианта, почти неподвижного на протяжении нескольких недель, именно: «Метеорная орбита должна почти совпадать с плоскостью эклиптики, перигельное расстояние центрального положения должно быть немного меньше единицы и движение — быть прямым. Положение будет предшествовать Солнцу на 90° в середине времени»» [22].

Здесь очень редкий случай, когда нужно заранее ожидать довольно значительной длительности потока, хотя по вопросу о допустимой ширине кольца орбит метеоров в перигелии, следовало бы также обратиться к теории.

Деннинг делает следующее замечание (The Observatory, a Monthly Review of Astronomy, 1887, p. 66): «20 радиантов, наблюдавшихся между 15 сентября и 15 января, дают среднее положение в 107°, +11°.5, но никто не может сказать, *сколько* различных потоков включилось за длительное существование радианта, и в равной мере мы не знаем их индивидуальных периодов».

Говоря о радианте в августе, положение которого 202°, +70°, Деннинг добавляет (Observatory, 1886, p. 331): «Явление, очевидно, имеет хорошо выраженный характер, хотя кажется невозможным ограничить его короткой эпохой; здесь могут быть несколько потоков, следующих один за другим из одной и той же точки».

В заметке Деннинга (Liverpool Astronomical Society, 1883, p. 34) мы находим следующее мнение: «Вопрос о длительности метеорных потоков требует многого для дальнейшего прояснения, так как здесь затрагиваются некоторые важные вопро-

сы теории. Число потоков, однако, столь велико, что величайшая точность, достижимая в таких наблюдениях, и весьма продолжительные наблюдения над небом становятся обязательными».

Кордер (L. A. S., 1883, p. 50), говоря о Мускидах и Тауридах, выражается так: «В то же самое время я считаю, что наши знания об этом сложном потоке находятся в весьма зачаточном состоянии, ибо в течение последней осени я сделал много наблюдений и сперва решил, что оба потока являются отдельными, а затем был склонен считать их снова за один. Вопрос, который нужно разрешить, состоит в том, смещается ли радиант ночь за ночью к точке, расположенной далее к востоку, или действительные Тауриды появляются в начале ноября безотносительно к Мускидам».

Деннинг высказывает следующее мнение на тот же предмет (там же, стр. 61): «Несомненно, что эти одновременные системы представляют трудности в отношении их положений и длительностей. Кажется, что каждая из них пляшет вокруг некоторой общей площади, не сохраняя точного и хорошо очерченного центра расхождения. Что касается их чисел, то эти системы показывают столь же любопытное распределение, ибо они кажутся появляющимися и исчезающими через короткие промежутки времени много раз в течение месяцев октября и ноября. Действительно, видимое поведение этих потоков столь непоследовательно и неустойчиво, что оно создает впечатление, что в области Тельца и Мухи группируются вместе в значительном числе почти концентрические метеорные орбиты. Этому мнению благоприятствуют рассеянная радиация и ее большая продолжительность».

По отношению к площади радиации мы находим в литературе следующие мнения.

Бутс (Observatory, 1888, p. 80) тщательно наблюдал в этом году поток Персеид; он подтверждает смещение радианта между 8 и 16 августа и, кроме того, приходит к заключению, что, весьма вероятно, площадь радиации этого потока в течение

его длительности имеет каждую ночь диаметр в несколько градусов.

Бэкхауз (Monthly Notices, vol. 16, p. 312) выражает то же самое мнение о площади радиации потока Андромедид: «Я еще не вычислял положения радианта, но могу подтвердить наблюдения других, что он имел площадь в несколько градусов в диаметре».

Относительно радианта Андромедид 27 ноября 1885 г. Деннинг делает следующее замечание (Monthly Notices, vol. 46, pp. 68—71): «Точка радиации была в 26°, +44°, но наблюденные следы не сходились в точность в фокусе. Нужно было принять площадь радиации в несколько градусов в диаметре, чтобы удовлетворить направлениям... Площадь радиации должна была иметь в диаметре полные 7°, чтобы соответствовать разногласиям в полетах».

Тэпман говорит (там же, стр. 80): «Сперва, вместо того, чтобы чертить пути, я тщательно следил за сильно сокращенными путями в непосредственном соседстве с радиантом. Вероятно, около половины из них расходились из точки 27°, +44°, но ничего не было примечательнее, как тот факт, что остальная половина *не* расходилась из этой точки».

Площадь радиации Андромедид (комета Биела) представляла в 1885 г. особенный интерес по своей эллиптической форме. Наблюдения недостаточно удовлетворительны для того, чтобы определить и даже оценить с точностью размеры этого эллипсиса; в этом отношении данные весьма противоречивы; все-таки многие наблюдатели более чем подтверждают эллиптическую форму; они указывают также направление большой оси эллипсиса.

Рэниярд (Monthly Notices, vol. 47, pp. 69—70) пытался выявить эту замечательную особенность площади радиации, проявляющуюся, вероятно, также и в других потоках. Сам Рэниярд наблюдал поток уже после максимума, около 9 часов; однако с помощью 40 или 50 метеоров, пути которых он пронаблюдал, он смог нанести их направления на карту, пользуясь

мысленной оценкой расстояния от радианта, и ему пришла мысль, что площадь радиации была эллипсисом с большой осью, направленной почти с севера на юг, длиной от 12° до 15° и с малой осью от 6° до 8°. Но пусть говорит сам Рэниярд: «Я упомянул о наблюденном мной эллиптическом виде площади радиации полковнику Тэпману, и он сказал мне, что на построенной им карте путей площадь радиации была определенно эллиптической; но так как я не видел причины для подобной эллиптической формы площади, я рассматривал это совпадение как чисто случайное и думал, что наши результаты, вероятно, не были основаны на достаточном числе наблюденных путей. Когда полковник Тэпман описывал свои наблюдения на вечернем собрании Общества, он утверждал, что более длинная ось наблюденной им эллиптической площади лежала с севера на юг. Это поразило меня как добавочное совпадение, так как я был уверен, что я не упоминал ему о направлении осей наблюденной мною эллиптической площади; но я не раздумывал серьезно об этом вопросе, пока не увидел через несколько недель письмо проф. Юнга в «Nature» от 17 декабря, в котором после описания своих наблюдений, он говорит, что «радиант не был точкой, но скорее областью около 4° длиной к северу и к югу и 2° шириной». Я тогда написал проф. Юнгу, запрашивая его о дальнейших подробностях его наблюдений, и он ответил мне, что область радианта являлась «овальной площадью», может быть, *немного большей*, чем он оценил ее сперва.

«Недавно, во время посещения обсерватории в Ницце, Перротен показал мне карту, на которой он и его ассистенты нанесли пути 60 или 70 метеоров, наблюдавшихся ими в ночь 27 ноября. Я сразу увидел, что пути не выходили из одной точки, и не говоря об этом, просил его нарисовать контур вокруг площади радиации. И он и присутствовавший при этом Толлон нарисовали эллиптические кривые с большей осью к северу и к югу или, вернее, с наклоном на 10° или 15° к западу от точки севера». Рэниярд продолжает: «Ни Нэш в Гриниче, который, как кажется, начертил с большой

тщательностью пути, показанные им на карте, «главным образом по наблюдениям, сделанным между 8 часами и 9 часами 30 минутами», ни Деннинг, чье внимание было привлечено большой площадью радиации, кажется, не заметили ее эллиптической формы. Но для столь медленно движущихся метеоров, как метеоры роя Биела, упомянутая выше эллиптическая форма площади, вероятно, была *не замечена* набюдателями, объединявшими пути, нанесенные с промежутком в 3 или 4 часа, ибо, вследствие вращения Земли вокруг оси, центр радиации должен казаться быстро смещающимся по небу в направлении приблизительно под прямым углом к большей оси наблюденного эллипсиса. Таким образом, объединяя наблюдения, разделенные достаточным промежутком времени, можно вывести круглую площадь радиации, хотя истинная площадь радиации была в каждый момент эллипсисом со значительной эллиптичностью».

Это последнее замечание об изменении фигуры с течением времени согласуется с тем, что мы вывели теоретически из рассмотрения эллиптических орбит в их частях, расположенных до перигелия ядра; однако объяснение этого факта вращением Земли несостоятельно[23]. *Мгновенная* эллиптическая форма или, скорее, попросту фигура, узкая и удлиненная, становится все большей при нарастании времени, вместе с смещением радианта. Мы еще вернемся к этому важному для нашей теории предмету и рассмотрим его подробно, когда коснемся радианта Андромедид.

Отметим, здесь, между прочим, объяснение, которое дает Рэниярд происхождению этого мгновенного эллипсиса. Он предполагает, что метеорные частицы находятся в магнитном состоянии и что, приближаясь к Земле, они стремятся расположиться таким образом, чтобы их большие оси были параллельны магнитной оси Земли (?).

Начертив на карте ось эллипсиса, наклоненного в его верхней части на 10—15° (12°,5) к западу от точки севера, мы видим, что он просто перпендикулярен к плоскости комет-

ной орбиты и направлен, следовательно, к ее полюсу, который для этого участка находится справа от полюса экватора. На схематическом наброске Перротена (Monthly Notices, vol. 47, p.70) ось фигуры радианта проходит при ее продолжении справа от полюса экватора.

5

Перейдем теперь к весьма важному для теории пункту: к смещению точек радиации. Это смещение хорошо установлено для потоков Персея и Андромеды. Деннинг недавно открыл подобное смещение к востоку у радианта Лирид, но я не смог найти численных данных, представляющих это изменение. Наиболее многочисленные наблюдения Андромедид были сделаны в Италии в 1885 г. Денца и Скиапарелли.

Денца пишет (Monthly Notices, vol. 46, pp. 78—79): «Я приложил *все мои усилия* единственно для того, чтобы определить положение радианта, что не представляло никакой трудности. Вот как я к этому приступил. Я внимательно отметил его приближенное положение, а затем нанес на бумагу пути нескольких метеоров, которые выпадали вокруг этой точки. Я получил таким путем 190 траекторий, каждая из которых представляет в свою очередь бесконечное число других, следовавших по тому же самому пути. Деля эти траектории на три группы, я получил три следующих положения (среднее время Рима):

	Радиант	
В $7^h\ 35^m$	$\alpha = 22°$	$\delta = +44°$
В 8 20	$= 26$	$= +43$
В 9 8	$= 28$	$= +42$

Эти точки находятся между φ и γ Андромеды, а третья из них совсем близка к этой последней звезде.

Мой ученый коллега Скиапарелли получил результат:

В $6^h\ 35^m$	$\alpha = 15°$	$\delta = +45°$
В 7 12	$= 18.5$	$= +44$
В 8 7	$= 23$	$= +42$».

Деннинг (Monthly Notices, vol. 46, pp. 71—72) нашел небольшое смещение в обратном направлении, но его наблюдения были слишком малочисленны ввиду дурной погоды. Его результат имеет малый вес по сравнению с наблюдениями, сделанными в изобилии под прекрасным небом Италии.

Деля наблюдения на три группы, мы будем иметь для среднего гриничского времени:

1885		α	δ
Ноября 27	$6^h\ 4^m$	17°	+45°
	7 1	23	+43
	7 54	27	+43

Для вычисления смещения радианта возьмем две крайние точки с той целью, чтобы промежуток времени был более значителен. Преобразуя их в долготу и широту, будем иметь:

		l	*b*	λ
1)	$6^h\ 4^m$	34°52′	34°30′	245°43′
2)	7 54	41 28	29 34	245 47

Здесь λ — долгота Солнца для моментов наблюдений; она даст нам величину угла L.

С помощью формул (12) — (18) мы находим:

	L	θ	ε
1)	155°43′	141°20′	114°57′
2)	155 47	148 6	110 58

	ε′	l'	b'
1)	154°49′	355°53′	15°25′
2)	152 17	359 47	14 14

Наконец:

	s	i
1)	109°24′	16°22′
2)	113 50	15 57

Здесь s — угол касательной к метеорной орбите с радиусом-вектором этой орбиты, и мы видим, что эта касательная имела

в конце явления иное направление, чем в его начале. Рис. 2 объясняет полностью это изменение в направлении касательной. Он выполнен грубо по элементам кометной орбиты для 1885 г.:

T = 1885, октября 31

☊ = 246°3

π = 109.6

i = 12.6

q = 0.861

Движение прямое.

Точки 0, 90, 180, 270 представляют орбиту Земли, $d\pi m$ — орбита кометы.

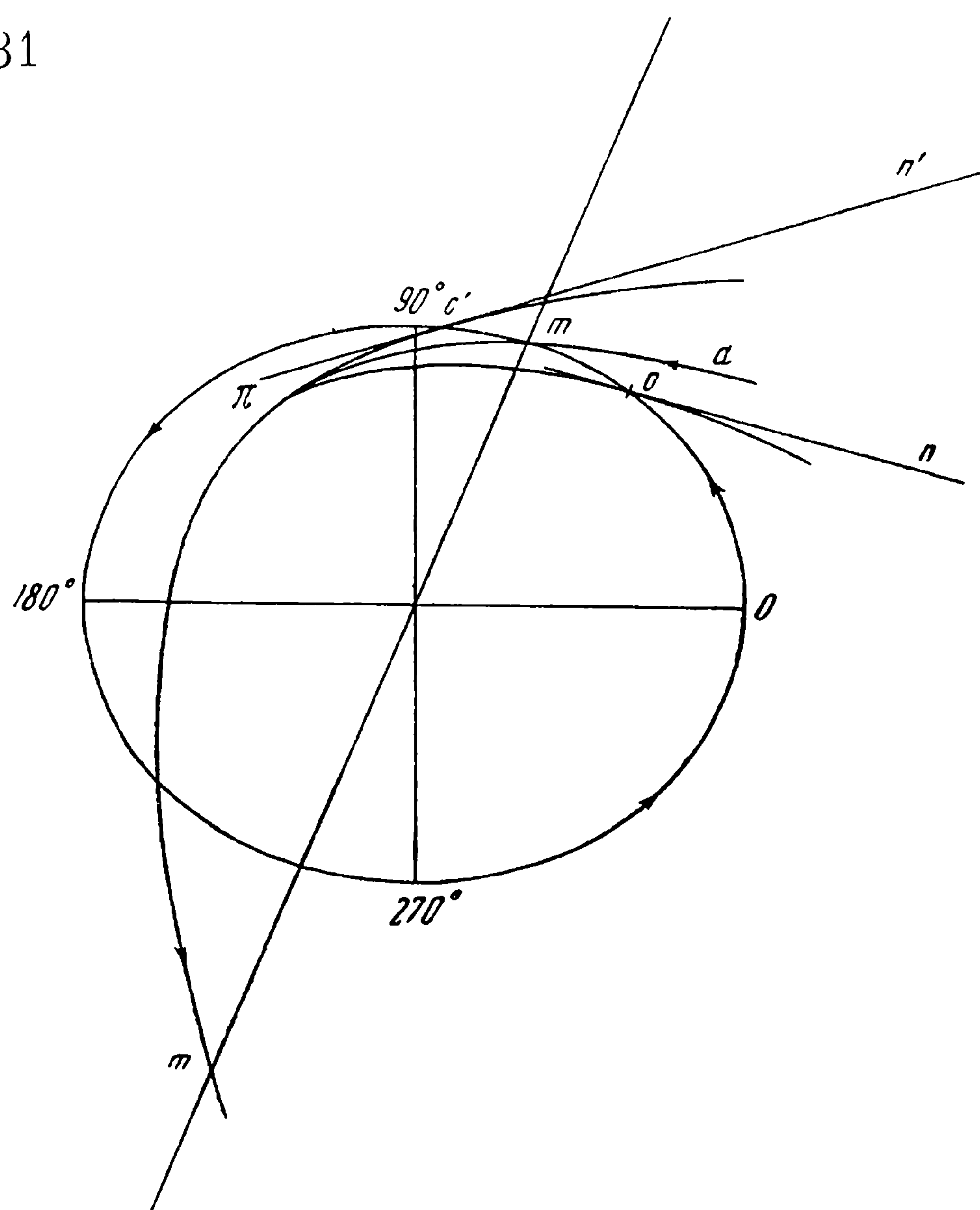


Рис. 2

Вычисления, относящиеся к рис. 1, уже показали нам, что орбиты метеоров расходятся от перигелия в этой части параболы или эллипсиса; на последней из этих кривых расхождение, несомненно, менее заметно. На рис. 2 расхождение орбит преувеличено только для того, чтобы лучше показать изменение в направлении касательной. Линия *mm* обозначает линию узлов; расстояние перигелия π от Солнца короче, чем расстояние от Земли до Солнца; следовательно, Земля пересекает поток через точки *oo'* изнутри наружу по отношению к его кольцу. Однако, вследствие расхождения орбит метеоров, касательная к внешним орбитам в *o'* отклонена своим концом *n'* к *востоку* больше, чем касательная в *o*, направленная к *n*. Так как метеоры приходят по направлениям *no* и *mo'*, то ясно, что радиант должен казаться переместившимся в направлении к востоку,

что в действительности и видно по его прямым восхождениям и по долготам. В случае параллельных метеорных орбит такое отклонение было бы нечувствительно для промежутка времени меньше чем 2 часа.

Итак, *перемещение* радианта есть *геометрическое следствие* непараллельности или же *расхождения* метеорных орбит.

Мы сказали выше, что последние наблюдения Деннинга показали смещение радианта [24] к востоку также и для кометы 1861 I. Элементы этой кометы таковы:

$T = 1861$, июня 3

$\pi = 243°$

$\Omega = 30$

$i = 80$

$\lg q = 9.964$

Движение прямое.

Легко видеть по этим элементам, что схематический рисунок, сделанный для кометы Биела, может послужить для объяснения смещения касательной к востоку. Остается только вычислить с помощью числовых данных величину этого смещения.

Пользуясь формулами (19) — (21), вычислим для потока Биела величины углов A и c.

Угловое перемещение Земли $a = 4'.6$; величины i и i' были найдены выше, и мы имеем:

$$A = 27', \quad c = 2°.7.$$

После этого графическое построение от руки покажет нам, что точка A находится над эклиптикой и что плоскости крайних орбит наблюденной части потока пересекаются на расстоянии от перигелия кометы, равном 46°, так как этот перигелий находится на расстоянии 43°.3 от нисходящего узла. Они здесь пересекаются таким же образом, как пересекаются подобные *плоскости* на рис. 1 около точек b', c', d', где сами *орбиты*,

соответствующие различным углам J, пересекаются с плоскостью кометной орбиты вдоль прямой линии.

Только в частных случаях, когда J симметричен с двух сторон плоскости орбиты — по отношению к этой плоскости, метеорные орбиты пересекаются здесь в одной точке.

Итак, согласно нашим соображениям по этому вопросу, изложенным в теоретической части этой записки, метеоры, встречаемые Землей 27 ноября, покинули комету после ее прохождения через перигелий — в предшествующем обороте или в одном из ее предшествовавших оборотов — при истинной аномалии, равной $180°—46° = 134°$. Вероятно, вследствие довольно большого перигельного расстояния q, выбрасывание началось после перигелия. Естественно, здесь нельзя ожидать сколько-нибудь точных чисел, потому что ошибка в один градус в положении радианта уже приводит к ошибке в несколько градусов в предшествующем вычислении аномалии.

Угол A не может быть употреблен с пользой для оценки величины $j \sin J$, кроме того случая, когда он относится к плоскости орбит, наиболее удаленных от плоскости кометной орбиты, иначе говоря, когда частицы были выброшены в плоскости, перпендикулярной к плоскости орбиты кометы [25]. Только тогда угол A равен углу $2x$ формулы (11). Во всех других случаях он меньше, чем угол $2x$. Это имеет место, когда Земля проходит сквозь поток не через его ось и перпендикулярно его ширине, но более или менее вкось. Важно отметить, что наблюдения Денца относятся не к полной ширине потока, а к ее половине, так как они были начаты уже во время максимума (Monthly Notices, vol. 46, p. 77).

Итак, в случае прохождения по наклонной и только сквозь половину потока угол A не только не равен $2x$, но он меньше x.

Формула (11) дает нам $x = 27'$ для $J = 46°$ и для $j = 0.016$.

Расположение метеорных орбит в настоящем случае таково, что мгновенная площадь радиации должна быть согласно теории фигурой или полосой, удлиненной в плоскости, перпендикулярной к плоскости кометной орбиты; смещение радианта, или,

что сводится к тому же самому, непараллельность этих орбит, образует с течением времени фигуру больших размеров, которая может рассматриваться как овальная или эллиптическая. Мы видели в конце § 4, что эта удлиненная форма площади радиации была замечена многими наблюдателями, которые из-за почти неизбежной грубости наблюдений приписали ей весьма различные диаметры.

Кажется, что числа 2° и 4°, данные проф. Юнгом, более близки к истине. Допустим, что он немного преуменьшил, как он сам говорит, диаметры эллипсиса, и примем за большую ось этой фигуры величины $5\overset{\circ}{.}5 = 2x$ как среднее из данных Юнга и Деннинга. Тогда с помощью формулы (11), полагая $J = 45°$, получаем $j = 0.06$. Имея в виду, что наблюдения были грубыми, можно удовлетвориться этим результатом, так как он дает величину j в совершенно допустимых пределах и даже довольно близких к числу, указанному в моих исследованиях о кометах для начальной скорости II типа, имевшей место во всех появлениях кометы Биела за время ее существования и ее разделения.

Мы видели выше, что ось эллиптической площади радиации образовала угол в $12\overset{\circ}{.}5$ с кругом склонения и проходила справа от северного полюса экватора.

По теории она находилась в плоскости, перпендикулярной к плоскости кометной орбиты; следовательно, она проходила через полюс этой орбиты. Так как долгота нисходящего узла орбиты кометы 66°18′, а ее наклонение 12°36′, мы получаем координаты этого полюса: долготу $l = 156°18'$ и широту $b = 77°24'$, откуда получится прямое восхождение 237° и склонение $68\overset{\circ}{.}5$. Посмотрим, на каком расстоянии от этой точки проходит большой круг, проведенный через радиант и ось площади радиации до круга склонения полюса кометной орбиты. Мы имеем сферический треугольник: радиант, полюс экватора и пересечение нашего большого круга с кругом склонения полюса кометной орбиты. В этом треугольнике известной стороной явится расстояние радианта от северного полюса, равное 46°;

углы, прилежащие к этой стороне, равны 12°.5, и разность прямых восхождений полюса орбиты (237°) и радианта (22°) равна 145°. Применяя к этому треугольнику тригонометрические уравнения Гаусса, мы находим для дуги между искомым пересечением и северным полюсом величину 19°.6 или для склонения этого пересечения 70°.4; так как склонение полюса орбиты 68°.5, то мы видим, что продолженная ось фигуры площади радиации проходит почти через полюс кометной орбиты. Это — очень интересный результат и для теории очень важный.

Итак, приложение теории к потоку Биела нам уже показывает, как наши рассуждения согласуются с наблюденными явлениями и объясняют их простым и вероятным образом.

Перейдем теперь к потоку Персеид. Элементы орбиты производящей кометы 1862 III следующие:

$T = 1862$, августа 22.54 ср. гринич. вр.
$\pi = 344°42'$
$\Omega = 137\ 27$
$\Omega - \pi = 152\ 45$
$i = 66\ 26$
$\lg q = 9.9835$
$e = 0.96076$

Время обращения 121.5 лет.
Движение обратное.

Поток происходит в нисходящем узле, и в 1866 г. Земля прошла через этот узел 10.75 августа.

Элементы Персеид, выведенные из наблюдений в 1866 г., таковы:

$T =$ июля 23.62
$\pi = 343°38'$
$\Omega = 138\ 16$
$i = 64\ 3$
$q = 0.9643$

Время обращения 108 лет (?).
Движение обратное.

Место потока находится на расстоянии в 27°2 от перигелия кометы, ибо это есть расстояние между нисходящим узлом и перигелием в части орбиты после перигелия. Схематическое построение не будет здесь настолько ясным, чтобы можно было истолковать явление в его общих чертах, однако вопрос легко решается вычислением.

Числовые данные относительно положения радианта в различные дни длительности потока даны в статье Деннинга (Monthly Notices, vol. 45, pp. 97—98). «Явление,— говорит Деннинг,— впервые принимает ясную и определенную форму в ночь на 25 июля, когда оно дает около *одного* метеора в час.

«Затем явление развивает интенсивность до 10 августа, после чего оно довольно быстро спадает до 19 августа, когда кажется почти исчерпанным, хотя, как я *полагаю*, особенно по моим наблюдениям нынешнего года, явление слабо поддерживается до 22 августа, когда оно дает около одного метеора за *три* часа (?) внутри сферы видимости одного наблюдателя»[26].

Один метеор за час и один метеор за три часа — разве это достаточные числа для того, чтобы настолько удлинять продолжительность потока, особенно когда эти метеоры появляются не в пустыне, а в области неба, где метеоры изобилуют, и когда рассматриваемый радиант переместился вдоль пути в 40°? Эта гипотеза, конечно, произвольна, а еще претендуют, что истинное начало имело место 13 июля! Однако перейдем к числам и расчетам. Вот данные Деннинга:

Дата		Часовое число метеоров	Часовое число Персеид	Радиант Персеид	
				α	δ
Июль	25	20	1	27°	+55°
	26	22	1	27	55
	27	29	2	28	55
	28	29	2	29	55
	29	26	3	30	55
	30	24	3	31	55
	31	21	4	32	55

Дата	Часовое число метеоров	Часовое число Персеид	Радиант Персеид	
			α	δ
Август 1	18	5	33°	+56°
2	18	5	34	56
3	20	6	35	56
4	21	6	36	56
5	22	7	38	57
6	24	8	39	57
7	27	10	40	57
8	34	16	42	57
9	48	32	43	57
10	71	57	45	57
11	44	29	47	57
12	26	11	49	57
13	23	7	51	57
14	23	5	54	57
15	22	4	56	57
16	19	3	59	57
17	18	2	62	57
18	18	1	65	57
19	18	1	68	+57

Для начала и конца явления мы имеем видимые координаты радианта:

		α	δ
1) Июль	25	27°	+55°
2) Август	10	45	57
3) Август	19	68	+57

Далее имеем:

	l	b	λ
1)	47°9	40°4	122°1
2)	59.6	37.3	137.5
3)	75.6	34.6	146.1

	L	θ	ε
1)	32°1	72°3	42°9
2)	47.4	74.6	39.0
3)	56.1	64.2	39.1

	ε'	s	i
1)	71°6	73°2	70°8
2)	65.4	76.0	64.6
3)	65.6	66.7	63.3

Если мы вычислим теперь угол A для точки пересечения крайних орбит 3 с кометной орбитой, для которой $i = 66°26'$ и $a = 8°.7$, то получим $A = 7°.9$ и $c = 78°$; отсюда видим, что орбиты пересекаются под эклиптикой (грубое графическое построение от руки) в точке, отстоящей на 105° от перигелия кометы. Итак, здесь находится та точка, где произошли извержения, встречаемые 19 августа. Эти извержения произошли (в части орбиты после перигелия) или во время предшествующего оборота, или в каком-либо из более ранних оборотов. Так как эллипсис кометы очень удлинен, весьма естественно, что мы получили метеоры, выброшенные после перигелия ядра, ибо те, что были выброшены до перигелия, следовали по гиперболическим орбитам.

В случае Персеид Земля, кажется, проходит через ось кольца, сечения которого после перигелия имеют почти круглую форму; следовательно, найденная величина A должна была бы представлять наклонение метеорных орбит, наиболее удаленных от плоскости кометной орбиты, иначе говоря, эта величина должна была бы равняться углу x. Но, полагая $J = 60°$ и $j = 0.22$, получаем $x = 7°.9$. Правда, у этой кометы извержения были очень энергичными, и мы нашли (B r é d i k h i n e. Revision des valeurs numériques de la force répulsive) для ее комы I типа $g = 0{,}25$; однако во всяком случае величины $J = 60°$ и $j = 0.2$ представляются немного преувеличенными.

Принимая диаметр площади радиации равным 10°, мы получаем $x = 5°$, откуда с помощью формулы (11), при значении $J = 45°$, находим $j = 0.17$, что гораздо более вероятно. Итак,

длительность потока до 19 августа кажется немного преувеличенной: может быть, он длится только до 14 или 15 августа. Однако затруднения здесь не столь велики; даже длительность до 19 августа может быть допущена; только источником расхождения будет тогда ошибка в определении радианта посредством этих метеоров, уже столь редких, что, наверное, положение радианта ошибочно на много градусов. На самом деле, слишком быстрое перемещение радианта за последние дни явления во всяком случае подозрительно[27].

Для пересечения крайних орбит 1 с кометной орбитой мы получаем, при $a = 15^\circ\!.3$, величину $A = 15^\circ\!.5$ и $c = 63^\circ\!.5$, откуда расстояние точки пересечения от кометного перигелия будет 91°; иначе говоря, соответствующие извержения метеоров, наблюдавшихся 25 июля, имели место при истинной аномалии, равной 91°, что снова является совершенно естественным. Однако величина $A = 15^\circ\!.3$ требует $j = 0.4$, что уже *слишком* преувеличено. Здесь с еще большим основанием мы можем сказать, что наш поток начался только 1 августа, а метеоры, наблюдавшиеся до этого времени, вероятно, принадлежат другому потоку, прилегающему к потоку Персеид. Может быть, спросят, почему радиант этого предполагаемого потока перемещается, как радиант Персеид? Однако, если он находится в той же самой области неба, почему бы ему не испытывать то же самое перемещение. Еще могут сказать, что часовое число метеоров меняется почти правильно к максимуму Персеид, но это происходит потому, что максимум этого потока, относительно более слабый, вероятно, находится недалеко от максимума Персеид.

Из всего предшествующего видно, что радиус площади радиации, с одной стороны, и величина *угла A*, зависящая от длительности потока, с другой стороны, тесно между собой связаны и должны, так сказать, служить контролем одна по отношению к другой.

Конечно, чтобы объяснить непомерную ширину потока, можно прибегнуть к планетным возмущениям, которые могли

изменить наклонения и положения узлов метеорных орбит и расширить, таким образом, поток. Это объяснение весьма вероятно, но для его проверки нужно вычислить возмущения[1].

6

Теперь мы займемся очень важным вопросом,— явлением, которое встает препятствием против всякой сколько-нибудь приемлемой теории. Я подразумеваю радианты *неподвижные*, иначе — большой длительности.

Эти радианты были допущены Деннингом, и, чтобы лучше понять их значение, следует внимательно прочесть изложение его мнений по этому предмету (Monthly Notices, vol. 38, pp. 111—114; vol. 46, p. 347; vol. 45, pp. 93—116, 444).

В 1878 г. он заявил, что некоторые потоки имеют, повидимому, очень большую продолжительность. В некоторых очень резко отмеченных случаях, говорит он, период обнимает более четырех месяцев; есть радианты, которые имеют стремление повторяться или представлять вторичные иррадиации месяца через три после первого появления.

Правда, добавляет Деннинг, что теперь такое множество радиантов, различающихся днями появления, положением, напряженностью и проч., притом определенных неточно, что естественно ожидать некоторых случайных совпадений в положении и что есть совершенно различные потоки, которые спустя некоторое время выходят из тех же мест неба. Такое объяснение представляется естественным; оно становится еще убедительнее вследствие того факта, что метеорные потоки появляются обыкновенно около апекса Земли и редко являются в действии или резко определенными вдали от этой точки.

Следует прибавить еще, говорит Деннинг, что в этой отрасли наблюдений никогда не достигается абсолютная точность и что положение радианта слабой системы редко может с уверенностью заключаться в пределах 5° или 7°.

[1] См. ниже мои заметки: «Вековые возмущения ...» и «Об участии Юпитера...».

Кроме этого, идея повторных радиантов не согласуется с гипотезой родства метеоров и комет в той простой форме, в которой мы ее себе представляем.

Однако же доказано, говорит Деннинг, что есть радианты, появляющиеся не один раз, с двумя максимумами, с промежутками около трех месяцев или немного более того.

В 1884 г. Деннинг развивает свою мысль более широко, настаивая на существовании последовательных появлений метеоров *строго* из одной и той же точки неба после коротких промежутков кажущегося спокойствия. Он называет эти точки *«стоячими радиантами»*.

Допуская свободно существование множества потоков, а также практическую трудность их индивидуализации и определения их центров радиации, он находит, однако, что по мере накопления опыта эти препятствия станут менее грозны, что есть средство различать метеоры одного и того же потока по индивидуальным чертам их сходства. Кажущаяся длина пути, полосы или следы разного цвета, сокращенные пути и т. д.— для него признаки, которые чрезвычайно важны при указании верной точки радиации.

Наблюдателю эти признаки становятся де привычными, и они вместе с направлением движения ведут к результатам, достойным доверия. Нужно признать, говорит Деннинг, как обычную вещь, что в радиантах болидов встречаются вероятные погрешности в 5°, в 7°, даже в 10°; между тем как наблюдатель, который умело наблюдает рой метеоров, может определить его центр с точностью до 2°, часто даже до 1°. Он думает, что радианты, как таковые, рассеянные или удлиненные, не существуют в действительности, а что являются они или в результате ошибок наблюдения или происходят от потоков, почти концентрических, имеющих одновременные эпохи. Метеорные системы со значительным наклонением могут оставаться в действии только на короткое время, если они описывают параболические орбиты, ибо Земля может пронизать поток в 5 млн. миль (англ.) всего в 3 дня.

Безмерная ширина вызовет также большую продолжительность; но тогда радиант должен перемещаться между звездами. Рассуждая так, Деннинг допускает везде параллелизм метеорных орбит и существование их параболических орбит.

После этих общих соображений Деннинг приводит, как пример, наблюдения шести стоячих радиантов.

Для каждого из них он дает средину его положений для разных эпох года. Возьмем, например, его радиант II, выведенный из собственных наблюдений Деннинга. Он тянется с 6 июля по 14 ноября, и его положение: $\alpha = 46\overset{\circ}{.}1$ и $\delta = +45\overset{\circ}{.}0$. Вот данные для различных эпох года:

	α	δ
Июля 6—17	47°	+45°
23—25	48	43
25—31 и августа 13	41	40
Августа 6—12	50	47
2—11	44	46
6—12	49	47
3—16	46	45
19—21	46	45
21—23	46	47
21—31	45	47
Августа 24—сентября 14	44	43
Сентября 4—16	47	45
Октября 20	45	46
Октября 31—ноября 4	46	46
Ноября 12—14	48	+43

Хотя Деннинг приписывает выше большую точность определению этих радиантов, но в предыдущих данных мы видим различия на 9° в прямом восхождении и на 7° в склонении. Бóльшие и более частые различия имеют место в том случае, когда наблюдения не принадлежат одному наблюдателю.

К своим шести примерам Деннинг присоединяет еще 26 радиантов стоячих и говорит, что многие из этих потоков представляются не только стоячими, но даже и *непрерывными*, ибо

накопление новых наблюдений имеет де *стремление* заполнить промежутки кажущегося спокойствия. Большая продолжительность метеорных потоков, говорит Деннинг, порождает огромный антагонизм между теорией и наблюдением, и он признает себя не в силах представить какую-нибудь гипотезу для объяснения явления; предмет очень труден, говорит он, но он так достоверно пронаблюден, что способен выдержать самое строгое испытание.

Средняя скорость метеоров по всем наблюдениям и соображениям принимается в науке как почти параболическая. Отношение этой скорости к скорости Земли создает *аберрацию* в видимом *положении* метеоров, доходящую до десятков градусов. Если радиант является стоячим, то, стало быть, он не подвержен такой аберрации, т. е. скорость потока должна быть огромной. Многие ученые, например: Тэпман, Грег и Рэниярд, приводили Деннингу это возражение. Однако он настаивает на существовании своих стоячих радиантов, как на неизбежном выводе из наблюдений, и говорит, что радианты эти могут быть снесены с неба только возражением более сильным, чем то, которое утверждает, что они не согласуются с теориями, не представляющими совершенства в приложении к новой отрасли астрономии, и что мы не в состоянии утверждать, что наше знание теории содержит все формы и все условия метеорных явлений, представляющихся с Земли.

Но в этом вопросе главным пунктом все же остается скорость метеоров; если скорость огромная и если потоки могут охватывать своей шириной всю земную орбиту, тогда их радианты имеют возможность оставаться неподвижными, наподобие звезд, свет которых подвержен лишь небольшой аберрации.

Все-таки Деннинг энергично протестует против допущения очень большой скорости. Вот что он говорит об этом (Monthly Notices, vol. 45, p. 444): «Были сделаны замечания о скорости метеоров и огромной быстроте, необходимой для объяснения неподвижных, долго тянущихся радиантов. Я хочу сказать, что никаких подобных скоростей не наблюдалось и что стоячие

радианты невозможно объяснить этим путем. Метеоры, падающие из стоячих радиантов, описанных мною в декабрьском заседании, представляются с обыкновенными свойствами, и их движения не могут существенно отличаться от параболических скоростей, показываемых планетными потоками»[28].

Относительно вопроса, была ли скорость некоторых стоячих радиантов определена по многим наблюдениями болидов и больших метеоров, Деннинг отвечал положительно (там же), что эта скорость была вычислена для многих случаев и что она согласуется с обыкновенной скоростью метеоров планетарных.

Если скорость метеоров в стоячих радиантах есть общепринятая скорость, почти параболическая, то с помощью видимых положений стоячих радиантов Деннинга можно легко вычислить их истинные положения для различных эпох продолжительности радианта.

Приложим же это вычисление к стоячему радианту II, видимые координаты которого даны выше и для которого видимые долгота и широта будут: $l = 56^\circ.8$ и $b = +26^\circ.5$.

Для большего удобства разделим эпохи этого радианта на девять групп, арифметические средние которых с соответственными углами λ и L будут:

		λ	L
Июля	12	110°2	20°2
	27	124.6	34.6
Августа	11	138.9	48.9
	25	152.4	62.4
Сентября	4	162.1	72.1
	10	167.9	77.9
Октября	20	207.3	117.3
Ноября	2	220.3	130.3
	13	231.3	141.3

Отсюда получим углы θ, ε, ε':

θ	ε	ε'
39°9	44°0	73°5
52.8	34.1	57.4
74.6	27.6	46.6

θ	ε	ε′
101°1	27°1	45°8
117.9	30.3	51.2
125.9	33.4	56.3
150.2	63.9	103.3
152.5	75.2	118.3
153.4	85.2	130.0

И мы находим истинные координаты относительно эклиптики (l', b') и относительно экватора (α', δ'):

l'	b'	α'	δ'	l'	b'	α'	δ'
89°0	37°9	84°4	61°4	36°6	42°4	12°9	52°6
77.9	42.1	68.7	64.7	42.5	28.9	28.5	42.8
64.6	44.5	45.6	64.1	71.5	24.0	65.4	45.8
51.2	44.7	27.2	60.0	94.5	20.1	95.8	43.4
41.9	43.5	17.5	55.6				

По этим истинным положениям видно, какое путешествие по небу совершает наш стоячий радиант. Это просто различные потоки, разбросанные на 80° по прямому восхождению и на 20° по склонению. Каждый из этих потоков имеет свою собственную эпоху, и их положения среди множества других потоков таковы, что вследствие движения Земли каждый из них переносится видимым образом к точке радианта стационарного, где имеет свое кажущееся, *видимое* положение.

Неподвижный радиант отдыхает, когда на кривой, проведенной через точки истинных радиантов, имеется какое-нибудь пустое место, т. е. не занятое в соответствующую эпоху каким-либо потоком.

Когда мы изучали распределение радиантов, мы говорили о вероятном расстоянии двух одновременных потоков.

После того как была установлена средняя скорость метеоров, каталоги радиантов должны были бы давать рядом с видимыми положениями также и положения истинные для каждой эпохи.

Трудность, представляющаяся при объяснении некоторых явлений, наблюдавшихся у метеоров, например: смещение радиантов, ширина потоков и, особенно, введение этих *стоячих* радиантов, *с обычной скоростью метеоров*, породили сомнения по поводу кометной теории падающих звезд и вызвали тенденции заменить эту теорию другими спекуляциями, объясняющими или явление в целом, или какие-либо из его частей.

Эти теории нисколько не подтверждаются при математическом приложении их к явлениям, и, следовательно, они должны рассматриваться как необоснованные.

Монк (Observatory, 1886, № 115, p. 331) пишет: «За исключением четырех хорошо известных случаев, можно сказать, никакой вычисленный кометный радиант не согласуется с каким-либо известным метеорным радиантом и, наоборот, никакой метеорный радиант не согласуется с какой-либо кометной орбитой». Далее он заключает (L. A. S., vol. 5, pp. 141—142): «Я не вижу ничего невероятного в предположении, что солнечная система содержит большое число тел, чересчур малых, чтобы они могли быть наблюдены, помимо тех случаев, когда они вступают в нашу атмосферу. Я не вижу никакого основания приписывать нижний предел величине тел, обращающихся вокруг Солнца, и требовать, чтобы самые маленькие из них являлись кометами или обломками комет. Должно быть показано гораздо более полное соответствие между кометами и метеорами, прежде чем мы сможем принять кометную теорию как удовлетворительную».

Р. Проктор (Monthly Notices, vol. 46, p. 118) объясняет ширину площади радиации изменениями направления, вызванными сопротивлением нашей атмосферы.

Если это сопротивление влияет на метеоры, параллельными потоками вступающие в одно и то же время и в одну и ту же область нашего воздуха, то оно должно влиять еще более, согласно Проктору, на метеоры, падающие в воздух в различные эпохи.

Р. Проктор идет еще дальше и пытается построить целую систему для объяснения, между прочим, стоячих радиантов

Деннинга, которым он приписывает, однако, огромную скорость.

Так как новый разряд метеоров, открытый Деннингом, не мог быть притянут в солнечную систему действием Солнца, говорит Проктор, то мы должны в данном случае отбросить то, что считается общепринятой теорией происхождения метеоров.

Если извержение, подобное извержению Кракатоа, разбрасывает пыль на миллионы кубических миль воздушного пространства, то допущение, что тело, *подобное* Солнцу, например наша Земля в ее молодости, выбросило метеорные частицы в обширную область межпланетных пространств или что Солнце, *равное* нашему, выбросило метеорные тела в еще более обширные области,— это есть просто теория, представляющая в бóльших размерах то, что мы видим происходящим в меньших размерах.

Итак, согласно Проктору, все, что нам показывает микроскопический анализ, анализ химический и физический по отношению к метеорам,— все это объясняется теорией извержения их планетами и солнцами (?).

В целом системы метеоров и комет могли иметь, согласно Проктору, свое происхождение в одном из шаров, находившихся еще в современном состоянии нашего Солнца; эти системы можно классифицировать так (!):

1) изверженные планетами, подобными Земле;

2) изверженные гигантскими планетами;

3) изверженные нашим Солнцем;

4) изверженные другими солнцами того же порядка, что и наше;

5) изверженные гигантскими солнцами первого разряда (?!).

Вероятно, говорит Проктор, имеются другие классы и, наверное, также подразделения.

Я обхожу молчанием некоторые неопределенные предположения, одно из которых невероятнее другого[29].

Аномальные комы были видимы только у восьми комет; итак, мы допускаем возможность незаметных метеорных

извержений. Однако *истечения* хвостового вещества находятся в состоянии электрического свечения; их спектры являются тому доказательством. Метеорные *тельца* видимы единственно благодаря отраженному свету Солнца; следовательно, их количество при извержении должно быть весьма обильным, чтобы они стали заметными.

У нас есть очень важный пример, в котором аномальная кома уже перестала существовать, однако выбрасывание телец тем не менее было еще видимо.

Скиапарелли дает такое описание (Osservazioni della cometa 1862, III, p. 20): «Наиболее примечательная внезапная фаза извержения в день 25 августа (прохождение через перигелий произошло 23 августа.— *Ф. Бр.*) показывает, что в этот день ядро выбросило из себя много малых телец» [30]. Эти тельца, выброшенные после прохождения через перигелий, уже могли следовать по эллиптическим путям и стать метеорами.

Изучив положение (внутри орбиты ядра) аномальной комы этой кометы и получив подкрепление в важном наблюдении Скиапарелли, я выразился так (1876; Annales de l'Observatoire de Moscou, vol. III, p. 41): «Кажется, что аномальная кома кометы 1862 III представляла самый процесс постепенного превращения части кометной массы в рои метеоров».

Позже я указал на положение аномальных ком некоторых других комет внутри орбиты и, следовательно, на возможность для них *покинуть параболический путь* и превратиться в метеоры (см. соответственные места в наших «Annales», упомянутых на первой странице настоящей записки)[1].

---

[1] Даже в комете 1823 (1879; Annales de l'Observatoire de Moscou, vol. V, livr. 2, pp. 59—60), у которой аномальная кома казалась расположенной почти на орбите, эта кома находилась в действительности внутри орбиты, так как угол радиуса-вектора с касательной составлял 25°, а угол комы с радиусом-вектором был 20°; вот почему я мог сказать: «этот аномальный придаток может рассматриваться как след из метеоров».

Маркузе в 1884 г. (Marcuse. Theorie der Cometenschweife, Berlin, 1884), употребляя данные мною числа для положений аномальных ком, сделал ошибку при вычитании (мои возражения можно видеть, как указано выше, в наших «Annales», в «Astronomische Nachrichten» и в «Bulletin Astronomique»); эта ошибка привела его к неверному заключению, что аномальные комы всегда находятся на самой орбите кометы.

Получив этот ложный результат, он благосклонно принимает изложение моей идеи и повторяет ее в такой форме: «*Так можно сделать* заключение, что аномальные хвосты могут участвовать в образовании метеорных потоков».

Однако, повторяя меня, Маркузе не понял моей идеи, которая включает возможность преобразования параболических орбит в эллиптические пути. Действительно, если аномальная кома, видимая или невидимая, находится *в точности* на параболической орбите, то *частицы* теряются вместе с ядром в бесконечности пространства, не оставляя нам метеорных потоков.

7

Мы уже говорили, что некоторые отрицают тесную связь комет с метеорами вообще, допуская ее лишь в особых случаях, именно в четырех известных потоках, где отрицать ее невозможно, ввиду напряженности явления и существования производящих комет, движущихся приблизительно по тем же орбитам, что и метеоры[31].

Сомнения,— не говоря о трудности, которую представляли до сих пор для объяснения некоторые особенности явления,— возбуждаются, вероятно, огромной разницей между числом комет, занесенных в каталоге (310), и числом метеорных радиантов (3000), которое увеличивается почти ежедневно. Считают несомненным, что большинство радиантов не имеет соответственных комет и, следовательно, обязано своим происхождением другому источнику.

Заметим, что до сих пор молчаливо признавалось существование параболических потоков, без конца тянущихся около

Солнца. Разлагающее действие Солнца, при допущении одного только ньютоновского притяжения, не в силах преобразовать орбиты параболические, которых большинство, в орбиты эллиптические, с ежегодным повторением метеорных потоков и с значительной площадью радиации. Как мы уже сказали выше, легко себе представить, что эти параболические потоки должны быть очень малой *глубины* и даже *ширины*.

Вводя толчки извержения, мы имеем возможность получить эллиптические потоки и расширить во всех направлениях их поперечное сечение.

Если это действие, или вообще некоторый новый деятель, необходимо для сообщения потокам их действительных свойств, то понятно, почему стала чувствоваться недостаточность принятых до сих пор предположений.

Мы знаем уже, каким образом можно объяснить без затруднения явления, которые не согласовались с теорией, и каким образом комета, которая посетила нашу планетную систему в незапамятные времена, могла оставить в этой системе метеорное кольцо с годичным повторением.

Коль скоро эта возможность допущена,— а ее допущение есть результат согласия фактов с теорией,— падает само собой важное препятствие в виде различия чисел комет и метеоров.

По числу комет, открываемых в настоящее столетие, делают заключения о том, сколько их должно было приближаться к Солнцу в прошедшие века и тысячелетия. Число это, по всей вероятности, не будет ниже числа радиантов известных теперь и тех, которые будут еще открыты со временем.

С нашей точки зрения множество потоков является, наоборот, сильным подтверждением кометной теории падающих звезд.

С другой стороны, мы видели, что кольцо метеоров может сделаться очень широким, особенно около некоторых частей кометной орбиты, и очень густым вследствие извержений, импульсы которых содержатся в весьма допустимых и очень вероятных пределах величин j и J.

Таким образом, Земля может встречать, при известных условиях, метеорный поток кометы, орбита которой не пересекается точно с орбитой нашей планеты, но проходит на некотором расстоянии от этой последней.

В будущем для вычисления радианта данной кометы следует употреблять такой прием: отметив часть орбиты, где прохождение может иметь место, нужно вычислить крайние эллиптические орбиты метеоров, то есть орбиты, соответствующие при допущенном j крайним величинам J, например в пределах $\pm 45°$. Получив такие орбиты, следует вычислить радианты для них с помощью касательных к орбитам.

Эти радианты будут пределами для возможного радианта метеорного потока.

Подобным же образом, если имеется метеорный поток, то-есть его радиант, не совпадающий в пределах вероятных погрешностей с радиантом какой-нибудь известной кометы, то следует испытать с помощью только что указанного построения, не возможна ли встреча Земли с метеорными орбитами, произведенными извержениями этой кометы.

Идя далее по этому пути, мы постигнем возможность построить с помощью известных радиантов параболические элементы комет, находящихся уже на бесконечном расстоянии. Это построение, конечно приближенное, может быть выполнено с помощью графических приемов. Тогда-то, быть может, имея перед глазами эти тысячи орбит, мы будем в состоянии приблизиться к решению вопросов, относящихся к распределению кометных орбит в пространстве, к группировке их перигелиев и т. п. Это может пролить свет на прошедшее нашей солнечной системы.

Впрочем, мнения о несогласии положений кометных радиантов с радиантами метеоров следует признать всегда преувеличенными. В самом деле, в каталоге проф. Гершеля (Monthly Notices, vol. 38, pp. 369—395), содержащем около 150 кометных радиантов, мы находим уже довольно значительное число таких, которые согласуются с метеорными радиантами в очень умеренных пределах вероятных погрешностей наблюдений.

Возьмем только те радианты, для которых указаны соответствующие радианты метеорные и в которых разногласие во времени явления (в днях) и в положении (в градусах) менее 2 дней и менее 10° в положении. Эти радианты таковы:

Кометы	Несогласие в числе месяца	Несогласие в положении	Кометы	Несогласие в числе месяца	Несогласие в положении
1860 IV	0	4°	1858 V	0	2°
1759 III	0	2	1847 VI	0	9
1672	0	5.5	1723	0	4
1718	0	3	1825 II	0	7
1746	0	3	1770	0	1
1556	0	6.5	1850 II	0	2
1857 V	0	2	1842 II	0	4.5
1847 I	0	4	1848 I	0	7
1861 I	0	4.5	1757	0	4
1853 II	1	8	1695	0	6
1618 III	0	3.5	1582	0	2.5
1781	1	2	1821	0	5.5
1850 I	0	1.5	1866 I	0	1.5
1822 III	0	8	1813 I	1	2.5
1770 I	0	5	1852 III	1	1.5
1862 III	0	1.5	1702	1	8
1853 III	0	6	1812	0	4
1862 II	0	6.5	1846 VII	0	6.5
1780 II	0	2.5	1680	0	2.5
1854 IV	0	8			

При подобных сравнениях нужно иметь в виду, что геометрическим следствием нашей теории является более или менее значительное *смещение* метеорного *радианта* и более или менее значительное *протяжение площади* радиации, что может иногда замаскировать полное согласие кометного радианта с метеорным радиантом, показывая на различия в датах и положениях. Так, например, вычисленный радиант кометы Галлея имеет эпохой 4 мая, а положение его определяется координатами: $\alpha = 337°$ и $\delta = 0°$. Тэпман наблюдал поток Акварид в 1870 г., 1 и 3 мая, и для радианта их нашел 325°, —2°.5. В 1878 г.,

4 мая, наблюдения Кордера дали для радианта 334°, —1°. В 1886 г. Деннинг из наблюдений 12 метеоров с 1 по 6 мая нашел 337°,—2°.5, с вероятной погрешностью ±2°. «Девять метеоров,— говорит Деннинг,— хорошо согласуются с этим положением, а остальные три пути проходят на несколько градусов в сторону; но радиант может быть *рассеян* (*diffuse*)[32] на протяжении от 5° до 7°, потому что иначе я не могу объяснить этого разногласия, так как направления путей всех метеоров наблюдены хорошо».

В момент наибольшей близости Земли к кометной орбите последняя находилась на 0.06 снизу (к югу) от Земли.

Наблюдения Тэпмана предшествуют наблюдениям Деннинга, и в этом промежутке *рассеянный* радиант мог сместиться на 12° в направлении к востоку.

В последнее время найдено еще несколько кометных радиантов, которые более или менее хорошо согласуются с радиантами метеоров; таковы, например, радианты комет 1881 V, 1886 VII и т. д.

Изучая кометы, можно убедиться, что их извержения подвержены изменениям в интенсивности, более или менее периодическим, а иногда внезапным, в течение появления кометы. Отсюда происходят те поперечные полосы, которые я называю изохронами, или те облака в коме, примеры которых дают нам кометы 1744, 1858 V, 1882 II и т. д.

Если комета является периодической, интенсивность извержений меняется при ее последовательных приближениях к Солнцу. Берберих (Die Helligkeit des Enckeschen Cometen, Astr. Nachr., № 2836—2837), исследовавший блеск кометы Энке на протяжении 24 ее оборотов с 1786 по 1885 г., нашел заметные различия без постепенного изменения.

Эти перемены он объясняет их соответствием, их соотношением с периодом солнечных пятен: максимумы блеска соответствуют максимумам пятен, минимумы — минимумам.

Как бы то ни было, нужно признать тот факт, что интенсивность, а следовательно, и масса извержений у периодической

кометы меняется от оборотов к обороту. Это должно некоторым образом отразиться на различиях интенсивности метеорного кольца в различных его точках.

В этом смысле очень интересны соображения проф. Кирквуда (Observatory, 1885, № 386) о потоке Леонид и периодической комете 1866 I. Нужно заметить, что вдоль орбиты этой кометы имеется три метеорных облака. Одно из них, изученное Адамсом, Ньютоном и Скиапарелли, имеет время обращения 33.25 года.

Другое скопление, по наблюдениям Гумбольдта и Кетле, имеет время обращения, равное 33.31 года. Наконец, как показывают наблюдения между 1850 и 1880 гг., третий рой, вероятно менее протяженный и менее плотный, имеет период в 33.11 года. Время обращения самой кометы, согласно Оппольдеру, 33.176 года; однако Кирквуд находит, что 33.28 года более точное число, и полагает, что отделение первого роя произошло в 1366 г., около эпохи первого появления (?) кометы, и что это отделение или разложение привело к ослаблению блеска кометы.

8

В моей теории происхождения метеоров в результате кометных извержений я устанавливаю существенное различие между газообразными излияниями материи хвоста, которые устремляются в нормальную кому, и этими изверженными массами, которые образуют метеорные потоки. Я их считаю с достоверностью за *твердые* частицы. Это твердое состояние падающих звезд хорошо доказано и общепризнано в настоящее время, и мне не нужно повторять здесь все аргументы в его пользу.

В речи, произнесенной в 1886 г. в Буффало проф. Ньютоном («Метеориты, метеоры и падающие звезды»), мы находим этот предмет, изложенный с большой простотой и такой же ясностью.

Тем не менее всегда интересно видеть, что результаты новых наблюдений все более подтверждают сказанную теорию.

Так, Деннинг в статье о высоте болидов и падающих звезд (Monthly Notices, 1888, vol. 48, pp. 112—114) показывает, что высота первых из них при их исчезновении не превышает половины соответствующей высоты вторых.

Средние высоты наилучше наблюденных болидов за последние 20 лет таковы:

80 болидов, 1865—1887 $A = 69.2$ $E = 30.2$

A — высота появления, а E — высота исчезновения, выраженные в английских милях.

Средняя высота метеоров (все падающие звезды 1-й величины или более слабые):

	A	E
Э. Хейс	76.9	50.1
Гершель	79.5	53.3
Уоллер	81.4	52.4
Деннинг	80.0	54.2

Если исключить из этих чисел высоты нескольких болидов, будем иметь:

	A	E
Болиды	69	30
Падающие звезды	80	54

Отсюда вытекает, что прежде чем достигнуть видимой степени свечения, болиды должны проникнуть в пространстве на 11 миль ниже, чем малые метеоры, и что в момент угасания они находятся на 24 мили ближе к Земле, чем представители слабого класса. Бóльшая твердая масса может сохраняться дольше на своем пути в пространстве.

Подробное изучение движения хорошо наблюденных падающих звезд позволяет ввести в вычисление малые поправки, которыми обычно пренебрегают. Это даже необходимо, вследствие изменения в направлении метеора, вызываемого притяжением Земли, что называют зенитным притяжением. Другая поправка

зависит от движения места наблюдения, вызванного вращением Земли вокруг ее оси.

По поводу падающих звезд неизбежно ставится следующий вопрос о метеоритах: откуда приходят на Землю эти массы, состав и структура которых могут быть изучены химиками и минералогами в их лабораториях?

Минералоги в большинстве склонны отрицать тесную связь падающих звезд с метеоритами. Так, С. Менье выражается следующим образом: «Если общее происхождение двух видов метеоров, даже предполагаемое реальным, не проявляется ни в каком заметном факте, то нет никакой причины его принимать. Большинство астрономов, занимающихся этими вопросами, не изучали в подробностях *строения* различных типов космических камней. Чрезвычайно сложные условия, которые предполагает, например, *состав* знаменитого железа Палласа, совершенно несовместимы с допущением его кометного происхождения, и один этот аргумент освобождает от искания других. Убежденные в единстве, одинаковости вещества падающих звезд и комет, мы настаиваем на том, что *метеорическое* явление относится совсем к другому порядку фактов».

Астрономов в первую очередь занимает вопрос о движении, об орбитах метеоритов, и мы думаем, что удовлетворительное решение вопроса о строении будет получено только тогда, когда станут известны истинные орбиты этих тел. Тогда мы будем в состоянии узнать условия, имевшие влияние на строение метеоритов, ибо вулканическое происхождение, например, требует условий, совершенно противоположных тем, которые налагаются межпланетным происхождением, и т. д.

Одним словом, зная происхождение метеоритов, мы менее запутаны в изыскании начальных условий, и вопрос становится менее сложным. Что же касается исследования движения, то оно, конечно, совершенно независимо от изучения строения и состава.

Недавно проф. Ньютон пытался в прекрасном мемуаре (The American Journal of Science. Third series, vol. 36, № 211

H. A. Newton. Upon the relation which the former orbits of those Meteorits that are in our collections, and that were seen to fall, had to the Earth's orbit) разрешить этот важный вопрос.

В существующих коллекциях представлены обломками более 256 падений аэролитов. На поиски их истории проф. Ньютон затратил много труда, порывшись в тех книгах, которые он мог достать.

Каждый прямой отчет и каждое косвенное указание, касающиеся полета этих метеоров в пространстве, были заботливо приняты во внимание и их значение оценено должным образом.

Определение пути метеора, который распадается на камни, очень облегчается тем фактом, что мы знаем по меньшей мере одну точку его траектории, именно ту, в которой он упал на Землю. К этому факту нужно добавить другой — указание направления движения до падения.

Орбита метеороида вокруг Солнца определяется, когда известны следующие три данные: *время* полета в воздухе, *направление* и *скорость*.

Взаимная связь между кометами и метеорами дает нам пределы скорости между 1.414 и 1.244[33].

Направление может быть выведено из наблюдений, сделанных свидетелями падения.

Что касается времени, полезно знать *точно* не день, а час падения, ибо иначе направление движения в воздухе не может быть использовано. Это заставляет отбросить почти пятую долю данного числа (падений аэролитов), и остается 210 ценных случаев. Для 94 случаев из этого числа нет годных указаний для направления, имеется только день и час падения. Но эти случаи тоже имеют некоторую ценность, так как они показывают, что метеоры пришли из точки, находившейся тогда над горизонтом места. Наконец, для 116 падений имеется более или менее определенное указание направления.

Известно, что апекс Земли — та точка, к которой планета движется; антиапекс — та точка эклиптики, от которой Земля движется. Одна из них находится почти на 90° сзади от Солнца,

другая — спереди на 90°. Антиапекс метеора есть та точка, из которой он приходит; его апекс — точка, к которой он движется. Движение может быть относительным по отношению к Земле, и в этом случае точка сферы, откуда движется метеор, есть *относительный* антиапекс [31].

Пользуясь значениями скоростей, заключенными между 1.414 и 1.244 по отношению к движению Земли, мы исправляем движение метеора и затем получаем его абсолютное движение вокруг Солнца; тогда обе точки небесной сферы, откуда или куда метеор движется, будут *абсолютные* апекс и антиапекс.

Проф. Ньютон нанес данные, относящиеся к этим 116 метеоритам, на карты, специально построенные для этой цели. Два помещенных рядом круга, касающихся в одной точке, представляют собой небо; в их точке касания находится Солнце; линия, проходящая через Солнце и центр обоих кругов, обозначает эклиптику. Апекс Земли находится в центре левого круга, ее антиапекс — в центре круга справа от Солнца.

Проф. Ньютон указал на этой карте абсолютные антиапексы метеоритов, которые располагаются вокруг антиапекса Земли, представляя собой вид некоего сгущения.

С помощью этих абсолютных антиапексов и очень простых и остроумных графических построений проф. Ньютон сумел определить элементы орбит упомянутых выше 116 метеоритов.

Первым и весьма важным фактом отмечаем тот, что абсолютные антиапексы скопляются вокруг антиапекса Земли и что вообще, за исключением семи, все остальные метеориты имеют антиапексы в том полушарии, где находится антиапекс Земли; иначе сказать, их наклонения меньше 90°; итак, 109 метеоритов *следовали* за Землей, а 7 *шли ей навстречу*. Подробности построения показывают, кроме того, что более двух третей метеоритов имели наклонение орбит менее 35° и прямое движение.

Другой не менее важный факт, который обнаруживается в графическом построении проф. Ньютона,— это тот, что перигельные расстояния превосходят 0.5 и не достигают 1,—это имеет место для 130 метеоритов.

94 метеорита, направление видимых движений которых неизвестно, должны были упасть, согласно рассуждениям проф. Ньютона, днем, когда наблюдения труднее, чем ночью.

Наконец, относительно 50 метеоритов, для которых время падения не указано, проф. Ньютон высказывает следующее мнение: «Из 50 наблюденных падений, составляющих третью группу, для которых час падения не указан, известно очень мало подробностей, кроме самого факта падения. Хотя у нас нет данных сказать, что они указывают на тот же самый закон, что и остальные 210 падений, но в то же время мы не видим причины подозревать противное. Не безосновательно будет предположить, что хорошо наблюденные падения камней являются хорошим изображением всей группы, и утверждать те положения, которые я считаю правильными вообще — не только для 210 падений камней первых двух групп, но для всех 260 падений камней, которые представлены образцами в наших кабинетах и для которых сами падения были видимы или известны».

Поэтому естественно заключить, что метеориты принадлежат по большей части к группе комет с короткими периодами, с тем отличием, что метеориты, имевшие обратное движение и, следовательно, большую скорость, разрушились в воздухе прежде, чем достигли почвы[35].

Общие выводы, к которым приходит проф. Ньютон, следующие:

1. Метеориты, находящиеся в наших кабинетах, двигались вокруг Солнца по орбитам с наклонением, меньшим 90°, то-есть их движения были прямыми, а не обратными.

2. Или метеориты, движущиеся вокруг земной орбиты, имеют вообще прямое движение, или же метеориты, имеющие обратное движение, не могут по какой-то причине пройти через воздух и достигнуть почвы в твердом состоянии.

3. Перигельные расстояния почти всех метеоритных орбит находятся между 0.5 и 1.0.

Основываясь на полученных им результатах, Ньютон советует вводить в редукции будущих наблюдений метеоритов

не параболическую скорость, но скорость, соответствующую средней орбите комет с короткими периодами.

Мы можем добавить с нашей стороны, что если метеориты движутся вокруг Солнца каждый по своей орбите, а не роями, вполне естественно считать их за очень малые независимые кометы. Таким образом, углубленное изучение структуры метеоритов должно считаться с этим обстоятельством, для того чтобы увязать объяснение с условиями температуры, движения и т. д., которые можно предположить для комет вообще.

Иногда настаивают на гиперболической скорости метеоритов, выводя эту скорость из продолжительности появления метеорита, и из длины его пути в пространстве.

Но эта продолжительность так же, как и для болидов, всегда наблюдается лицами неопытными в астрономических наблюдениях и всегда кажется преувеличенной. Увидев болид, мысленно считают секунды, однако из собственного опыта я прекрасно знаю, что длительность мысленной секунды, даже у людей знающих, всегда меньше, чем длительность между двумя ударами секундного маятника.

Однако в последних публикациях о болидах мы реже встречаем эту гиперболическую скорость[36].

Деннинг дает иногда редукции подобных наблюдений, и получающаяся из них скорость нисколько не превосходит параболическую.

Вот несколько примеров:

Хорошо определенный болид обладал орбитальной скоростью в 17 англ. миль в секунду, то-есть в 4.25 географич. мили (Observatory, 1887, p. 66).

Яркий метеор дал скорость в 5 географич. миль в секунду (там же, стр. 102).

Метеор, более яркий, чем планета Венера, и хорошо наблюдавшийся, дал скорость в 4.5 географич. мили (там же, стр. 228).

Еще наблюдался блестящий метеор со скоростью в 4 географич. мили (там же, стр. 266).

Если бы даже мы получили для какого-либо *метеорита* несомненно гиперболическую скорость, это еще не было бы неотразимым аргументом против кометной природы метеоритов, ибо большие кометы тоже показывали, хотя и редко, гиперболические орбиты.

Наша теория происхождения падающих звезд не имеет никакой необходимости связывать метеориты с тем или иным метеорным потоком, с тем или иным радиантом. Истечения хвостового вещества могут иметь силу достаточную, чтобы бросить в направлении Солнца частицы, настолько значительные, что они могут стать очень яркими метеорами; все же было бы *немного* труднее допустить выбрасывание сравнительно громадных масс, которые иногда падают на Землю в виде больших аэролитов, весящих до 10 000 кг.

Можно, однако, указать для нескольких комет на столь сильные взрывы, что ядро при этом делилось на несколько частей. Таков случай с кометой 1882 II. Разделение и разложение кометы Биела могло дать также несколько достаточно тяжелых обломков, которые блуждают посреди мелких телец, образующих поток Андромедид. Отсюда может происходить обломок железа весом в 8 англ. фунтов, упавший в Мазапиле в Мексике, в 1885 г., во время метеорного дождя 27 ноября. Проф. Бонилла, из обсерватории в Закатекасе, получил его через 5 дней после падения от человека, который сам наблюдал это падение [37].

Если целая маленькая комета падает на Землю, нет ничего удивительного встретить в этом метеорите довольно значительную массу или в компактном виде,— голова большой кометы 1811 г. представляла же ядро планетного вида,— или в виде кучи обломков, каким был в 1869 г., как сообщают, аэролитический рой в Пултуске, содержавший до 100 000 метеоритов.

Эллиптическая комета Биела разделилась на две *независимые* кометы. Это легко объясняется с механической точки зрения процессом извержения.

Но подобный процесс, когда отделившаяся масса того же порядка, что и производящая масса, может с еще бо́льшим

основанием иметь место в *параболической* или *гиперболической* комете.

В том случае, когда масса, разделившаяся подобным образом, сохраняется вследствие механических условий в состоянии тяготеющей системы (можно легко понять, что́ я хочу сказать этим сокращением), частицы, ее образующие, не превращаются в метеорный поток, но все следуют по одной орбите, общей с орбитой центра тяжести массы.

Итак, это будет новая периодическая комета.

Возможно и даже вероятно, что все периодические кометы, которые нам известны, порождены подобным образом. Изучение порождающих комет, соответствующих им в прошлые века, встречается с очевидным препятствием из-за недостатка материалов, даваемых каталогом комет.

Тем не менее я нахожу, что периодические кометы Тэмпеля и д'Арре имеют в качестве общей производящей большую комету 1678 г., кометы Понса-Брукса и Тэттля — комету 1672 г., комета Энке — комету 1231 г., комета Биела — комету 1695 г.; комета де Вико имеет порождающей комету 1585 г... А кометы 1880 I, 1882 II, 1843 I?...[38]

Разделение ядра произошло также в комете 1882 II. Я указал два момента главных взрывов (Th. Brédikhine. Revision des valeurs numériques de la force répulsive. Comète 1882 II)[39]; относительные положения ядер вычислены в последней работе Крейца (Untersuchungen über das Cometensystem 1843 I, 1880 I und 1882 II, SS. 84—98).

Можно воспользоваться этими данными при вычислении орбит отделившихся ядер.

Из числа этих ядер два (более близких к Солнцу) должны двигаться по эллиптическим орбитам, два других — по гиперболическим орбитам.

Приблизительное графическое построение показало нам, что эти два эллипсиса в данном случае не отклоняются заметно от орбиты производящего ядра.

Теория происхождения периодических комет, указанная нами здесь, является новой связью, объединяющей в одно целое параболические кометы (и гиперболические), эллиптические кометы, падающие звезды и метеориты.

Углубленное изучение этого предмета представляет много интересного с различных точек зрения, и я предполагаю изложить это в другой записке — «О происхождении периодических комет».

Примечание. Для сокращения я буду часто обозначать в этом сочинении «Annales de l'Observatoire de Moscou» буквами A. M., «Bulletin de la Société Impér. des Naturalistes de Moscou» — B. M. и «Bulletin de l'Académie Impér. des Sciences de St.-Pétersbourg» — B. P.

Извержения хвостового вещества, сообщающие метеорным частицам импульс по направлению к Солнцу, должны с точки зрения механики производить реакцию в противоположном смысле на тело производящей кометы. Однако подобная реакция уменьшает орбитальную скорость ядра *до* перигелия и увеличивает *после* перигелия.

В первом случае изменение эксцентриситета орбиты будет отрицательным, а во втором — положительным. В конечном результате все действие на орбиту сведется к разности двух противоположных действий.

Однако нельзя не допустить, что в излиянии вещества и в испускании частиц отделяется от кометы лишь очень незначительная доля общей массы. Таким образом, реакция, которая обратно пропорциональна массам, должна быть очень слаба, а следовательно, упомянутые действия на орбиту до и после перигелия,— а тем более их разности,— могут ускользнуть от вычисления.

Бессель вывел формулы для вычисления возмущений подобного рода; но чтобы выделить их из планетных возмущений, гораздо более сильных, нужно с точностью знать значения этих последних для каждого частного случая. Однако для комет с громадными временами обращения, среди которых (комет) и являются именно экземпляры, отличающиеся ярко выраженным

развитием хвостовых образований, и даже для периодических комет, с периодами в несколько десятков лет, планетные возмущения не вычислены с точностью, достаточной для тонкого исследования, указанного нами выше.

Что касается периодических комет с коротким временем обращения, то их планетные возмущения известны лучше; однако сила, производящая хвосты, в них по большей части слаба: только у нескольких экземпляров наблюдались незначительные хвосты [40].

Такого рода недоказанные факты отсутствия предполагаемых возмущений нельзя же считать серьезным критерием для какой бы то ни было теории.

Москва. 18(30) ноября 1888 г.

(Извлечение из В. М., 1889, № 1 или А. М., série 2, vol. II)

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ КОМЕТ

Изучая со вниманием все, что нам известно о кометах в целом и о каждой из них в отдельности, невольно останавливаешься на нескольких фактах, которые в будущем помогут понять строение этого интересного мира.

1

Мы уже пытались тщательно исследовать происхождение и развитие ком (хвостов)[1] комет и дошли до определения числовых значений сил и начальных скоростей, играющих роль в этом явлении.

Мы также показали, что эти начальные скорости или эти *толчки*, приложенные к *частицам* кометы, являются достаточными для того, чтобы произвести рои метеоров, рассеивая иным образом кометную массу в пространстве.

Однако наблюдения показывают, что дробление комет может совершаться в более значительных размерах: путем деления кометы на более или менее крупные части.

Таким образом, комета Биела разделилась на две независимые кометы; комета Лиэ (1860), наблюдавшаяся после ее прохождения через перигелий, казалась двойной; комета 1882 II разделилась после прохождения через перигелий и являла пять различных центров сгущения; кроме того, по

[1] Термин «кома» был бы предпочтителен перед термином «хвост».

соседству с главной кометой находились другие, вторичные, кометы, виденные в разное время различными наблюдателями.

Эти три факта были отмечены на протяжении 36 лет, и пропорция, сколь возможно умеренная, даст нам с вероятностью множество подобных фактов в прошлом.

В коме кометы 1882 II наблюдались сгущения (облака Шмидта), возникновение которых соответствует моментам деления ядра этого светила и которые подтверждают мысль, что это деление обязано процессу извержения.

Вторичные ядра были брошены в сторону от орбиты главного ядра и следовали по траекториям, которые более или менее от нее отклоняются в соответствии с интенсивностью толчка j.

В поразительном сходстве орбит комет 1843 I, 1880 I и 1882 II можно видеть результат отделения их ядер от ядра некоторой другой большой кометы, имевшей почти то же самое расстояние перигелия.

Элементы этих трех комет таковы:

	π	☊	i	$\lg q$
1843 I	278° 3′	355°47′	36°58′	7.8395 [41]
1880 I	278 23	356 17	36 52	7.7714
1882 II	276 25	346 1	38 0	7.8895

Период последней кометы, согласно Крейцу, составляет 772 года и, предполагая, что все три кометы появились при делении ядра одной и той же кометы, нужно допустить, что периоды двух первых комет суть: для кометы 1843 I — 732.5 года и для кометы 1880 I — 769.4 года. Производящая параболическая комета должна была пройти через перигелий около 1110 г. Если допустить, что толчок произошел после перигелия, при аномалии $v = 90°$, можно вычислить величину j, которая была достаточной, чтобы породить наши три эллиптические кометы. Для этой цели следует прибегнуть к формулам, находящимся в моей записке «О происхождении падающих звезд»[1].

[1] В настоящем издании эта работа публикуется под названием «Происхождение космических метеоров» (см. стр. 538). Упомянутые формулы см. на стр. 11.— *Ред.*

Значения j для трех комет соответственно таковы: 0.0008, 0.0007, 0.0008, что нам дает величину *толчка* только в 21 метр в секунду.

Предполагая, что извержение имело место при аномалии $v = 60°$, мы будем иметь $j = 0.0015$, или 44 метра в секунду.

Телескопические кометы 1827 II и 1852 II обладают весьма сходными элементами:

	π	☊	i	q	
1827 II	298°	318°	44°	0.81	обратн.
1852 II	280	317	49	0.91	»

Быть может, эти кометы, перигельные расстояния которых чувствительно не отличаются и которые обе наблюдались в течение короткого промежутка времени, являются периодическими, с очень большим временем обращения, и порождены одной единственной параболической кометой.

Телескопическая комета 1799 I,— если ее орбита есть эллипсис,— могла быть произведена большой кометой 1337 I. Их элементы:

	π	☊	i	q
1337	2°36′	93°.0	40°.5	0.83
1799	3 6	99.5	50.9	0.84

Перигельные расстояния едва отличаются.

Кометы 1862 III и 1870 I, перигельные расстояния которых заметно не отличаются и из которых первая является периодической (122 года), а другая имеет, может быть, очень большое время обращения, могут обе происходить от одной неизвестной параболической кометы. Их элементы таковы:

	π	☊	i	q
1862	344°.7	137°.4	66°.4	0.96
1870	303.5	141.7	58.2	1.01

Перигельные расстояния немного различаются.

Можно найти еще несколько примеров такого рода.

Эллиптические элементы комет с большим временем обращения — между 100 и 1000 лет: 1845 III, 1857 IV, 1840 IV, 1861 I,

1861 II, 1793 II, 1846 VII, 1855 I, 1853 II, 1811 II, 1854 V,— вероятно, не все произведены исключительно действием Юпитера; некоторые из них — результаты извержения; однако мы не знаем, сколько оборотов совершили эти кометы после раздвоения их производящих комет, и не удивительно, что мы не находим этих производящих в списке комет, который охватывает только 2000 лет, да еще с таким грубым приближением до XVII века.

Другие периодические кометы с временем обращения между 1000 и 3000 лет должны быть с еще бóльшим основанием обойдены молчанием.

2

Наши предыдущие формулы применимы к толчкам в плоскости производящей кометы. Но легко вывести выражения для толчка, положение которого не совпадает с этой плоскостью; последние выражения могут также служить для вычисления элементов орбит метеоров, которые не расположены в плоскости кометной орбиты.

Пусть c — ядро кометы; j — величина импульса, направление которого встречает небесную сферу в точке m; J — угол j с радиусом-вектором, всегда меньше 180°; φ — угол, образованный плоскостью, проходящей через радиус-вектор r и j, с плоскостью орбиты.

Предположим: $\varphi = 0°$, когда направление толчка j находится в плоскости орбиты, сзади от радиуса-вектора; $\varphi = 180°$, когда это направление также находится в плоскости орбиты, но спереди от радиуса-вектора; $\varphi = 90°$, когда плоскость j, r перпендикулярна к плоскости орбиты и j направлено в то полушарие от плоскости орбиты, в котором находится северный полюс эклиптики; наконец, $\varphi = 270°$, когда плоскость j, r перпендикулярна к плоскости орбиты и когда j направлено в то полушарие (вырезанное орбитой), где находится южный полюс эклиптики.

Пусть будут: s — кометоцентрическое положение Солнца, к которому направлен радиус-вектор; o — точка, в которой

касательная к орбите кометы, направленная обратно по отношению к движению ядра, встречает небесную сферу; o' — точка встречи касательной к новой орбите со сферой. Эта последняя касательная совпадает с направлением H_1, которое является диагональю параллелограма, образованного j и H.

Диагональ находится в плоскости, проходящей через j и H (касательная к производящей орбите), и, следовательно, точки m, o, o' находятся в той же самой плоскости. Плоскость новой орбиты проходит через ядро c, Солнце s и через новую касательную H_1; итак, она будет представлена на сфере дугой so. Угол между углами so и so' будет наклонением ι плоскости новой орбиты к орбите ядра. Чертеж столь прост, что я нахожу ненужным его здесь изображать.

Пусть будет λ — угол между mo и so; ν — угол между sm и om, и положим $oo' = u$, $mo = w$. Так как $\beta = 90° - \frac{v}{2}$, $soo' = 180° - \lambda$, то мы будем иметь формулы:

$$w = 180° - (j, H).$$

$$\cos w = \cos\beta \cos J + \sin\beta \sin J \cos\varphi. \quad (1)$$

$$H_1^2 = H^2 + j^2 - 2Hj \cos w. \quad (2)$$

$$H_1 : j = \sin w : \sin u. \quad (3)$$

$$\sin u = j \sin w : H_1. \quad (4)$$

$$\sin\lambda = \sin J \sin\varphi : \sin w. \quad (5)$$

Обозначая β угол радиуса-вектора с касательной в новой орбите, причем i' есть наклонение этой орбиты к эклиптике, будем иметь:

$$\omega = \pi - \Omega.$$

$$\cos\beta' = \cos\beta \cos u - \sin\beta \sin u \cos\lambda. \quad (6)$$

$$\sin u \sin\lambda = \sin\beta' \sin\iota.$$

$$\sin\iota = \sin\lambda \sin u : \sin\beta'. \quad (7)$$

Когда мы найдем ι, мы будем иметь элементы i', Ω' и $\omega' = \pi' - \Omega$.

$$\cos i' = \cos i \cos\iota - \sin i \sin\iota \cos(\omega + v). \quad (8)$$

$$\sin(\Omega' - \Omega) = \sin(\omega + v) \sin\iota : \sin i'. \quad (9)$$

$$\sin(\omega' + v') = \sin(\Omega' - \Omega) \sin i : \sin\iota. \quad (10)$$

Другие элементы будут вычислены с помощью формул (4)—(9), которые можно найти в моей записке о происхождении космических метеоров.

Когда производящая орбита — эллипсис, H должно быть вычислено для этого эллипсиса, и мы еще раз прибегнем к следующим формулам:

$$\operatorname{tg}\frac{1}{2}V = \sqrt{\frac{1+E}{1-E}}\operatorname{tg}\frac{1}{2}U,$$

$$T = \frac{A^{3/2}}{k}(U - E\sin U),$$

где $\lg k = 8.2355814 - 10$.

T' есть время между моментом извержения и прохождением отделившейся массы через ее перигелий. V положительно после перигелия ядра. Время обращения будет: $T = M - T'$, где M — момент извержения.

В обратном вычислении, то есть когда j, J и φ неизвестны и когда они разыскиваются с помощью элементов производящей орбиты и новой орбиты, будем следовать следующему способу. При заданных $☊' - ☊$, i и i' имеем:

$$\cos\iota = \cos i \cos i' + \sin i \sin i' \cos(☊' - ☊), \tag{11}$$

$$\sin(\omega + v) = \sin i' \sin(☊' - ☊) : \sin\iota, \tag{12}$$

$$\sin(\omega' + V) = \sin i \sin(☊' - ☊) : \sin\iota, \tag{13}$$

откуда получаем v, V и ι.

С помощью найденной величины V находим H и β' и с помощью значения v получаем H_1 и β. Затем:

$$\cos u = \cos\beta\cos\beta' + \sin\beta\sin\beta'\cos\iota, \tag{14}$$

$$\sin\lambda = \sin\iota\sin\beta' : \sin u. \tag{15}$$

Остальные неизвестные вычисляем по уравнениям (1), (2), (4) и (5).

Уравнение (2) дает:

$$j\cos w = \frac{H^2 - H_1^2}{2H} + \frac{j^2}{2H};$$

уравнение (3):

$$j \sin w = H_1 \sin u.$$

В первом приближении полагаем $j : 2H = 0$ и находим w а затем j; новое приближение с этим j даст более точную величину w и т. д.

Чтобы найти φ и J, применим к треугольнику *oms* аналогии Непера и получим:

$$\operatorname{tg}\frac{1}{2}(\nu - \varphi) = \operatorname{ctg}\frac{1}{2}\lambda \sin\frac{1}{2}(\beta - w) : \sin\frac{1}{2}(\beta + w). \qquad (16)$$

$$\operatorname{tg}\frac{1}{2}(\nu + \varphi) = \operatorname{ctg}\frac{1}{2}\lambda \cos\frac{1}{2}(\beta - w) : \cos\frac{1}{2}(\beta + w). \qquad (17)$$

$$\operatorname{tg}\frac{1}{2}J = \operatorname{tg}\frac{1}{2}(\beta - w) \sin\frac{1}{2}(\nu + \varphi) : \sin\frac{1}{2}(\nu - \varphi). \qquad (18)$$

Угол J находится также непосредственно с помощью уравнения

$$\cos J = \cos\beta \cos w + \sin\beta \sin w \cos\lambda. \qquad (19)$$

По отношению к квадрантам различных углов легко вывести следующие правила:
$\sin J$ всегда имеет знак $+$; знаки $\sin\varphi$ и $\sin\lambda$ одни и те же; $\sin w$ всегда имеет знак $+$; $\cos w$ — всегда $+$; w всегда $< 90°$. $\sin u$ имеет знак $+$; $\sin \iota$ имеет тот же знак, что $\sin\varphi$ и $\sin\lambda$.

Эти правила имеют место до и после перигелия. Угол β — тупой до перигелия и острый после него. Угол ι положителен, когда новая комета в точке извержения направляется в северное полушарие по отношению к производящей орбите.

Легко показать, что при одном и том же значении j в различных точках производящей орбиты (после перигелия) большие оси в производных орбитах различны. Возьмем для этого уравнение (2), которое при $\varphi = 0$ и $J = 0$ преобразуется в

$$H_1^2 = H^2 + j^2 - 2Hj \cos\beta.$$

Если в этом уравнении H относится к параболической орбите и H_1 к эллиптической орбите с большой полуосью a,

то получаем:

$$\frac{2}{r}-\frac{1}{a}=\frac{2}{r}+j^2-2\sqrt{\frac{2}{r}}\,j\sqrt{\frac{r-q}{r}};$$

$\cos\beta$ при этом равен $\sqrt{\frac{r-q}{r}}$.

Отсюда

$$j^2-j2\sqrt{2}\frac{\sqrt{r-q}}{r}+\frac{1}{a}=0.$$

Чтобы найти минимум величины j, производящего величину $\frac{1}{a}$, нужно взять производную от j по отношению к r и положить ее равной нулю.

Итак, выражение $\frac{dj}{dr}=0$ дает нам для решения, соответствующего вопросу, $r=2q$ или $v=90°$; иначе говоря, одна и та же большая полуось a произойдет от извержения наиболее слабого, когда аномалия есть 90°, или, что то же самое, одно и то же j порождает наименьшие размеры производной орбиты, когда извержение произошло в аномалии $v=90°$.

Величина перигельного расстояния q производящей кометы имеет, как мы это скоро увидим, очень большое влияние на размеры орбит, произведенных одной и той же величиной импульса извержения j.

Примечание. Уравнения (4), (5) и (7) дают нам для величины $\sin x$ (когда $\varphi=0$), представляемой формулой (11) моей записки о происхождении падающих звезд, следующее точное выражение:

$$\sin x=j\sin J:H_1=\sin\iota\sin\beta',$$

где

$$H_1^2=H^2+j^2-2Hj\cos\beta\cos J.$$

β' может быть заменено на β[42].

3

Применим наши формулы к какому-нибудь примеру. Элементы большой кометы 1532 г. обладают замечательным сходством с элементами периодической кометы Брорзена (1879 I).

Приводя первые из них к эпохе 1879 г., имеем:

	Комета 1532	Комета Брорзена
$T =$	1532.8	1879.3
$\pi =$	116°38′	116°15′
☊ $=$	92 13	101 19
$i =$	32 36	29 23
$q =$	0.5194	0.5899
$e =$		0.80980

Если последняя комета порождена параболической кометой 1532 г., продолжительность ее оборота должна быть равна 5.5 лет. Орбиты этих двух комет будут пересскаться после перигелия, если перигельное расстояние первой кометы уменьшить на 0.0011. Для этого пересечения имеем:

$v = 103°47'$ (параболическое), $\beta = 38°\ 7'$
$V = 105\ 25$ (эллиптическое), $\beta' = 45\ \ 9$
$\iota = 5\ 40$ $u = 7\ \ 58$
$\lambda = 30\ 20$ $w = 44\ \ 29$
$J = 20\ 50$ $\varphi = 95\ \ 43$

$$j = 0.21$$

Итак, мы видим, что с помощью умеренного значения j можно вывести эллиптические элементы с коротким обращением из параболических элементов кометы 1532 г.

Безусловно, планетные возмущения на протяжении 63 оборотов способствовали изменениям элементов производной кометы.

Но величина $j = 0.2$ наблюдается только при истечениях тонкого хвостового вещества I типа, и в извержениях значительных масс гораздо более плотного вещества трудно допустить величину j больше нескольких сотых.

Более того, малая величина наклонений, всегда прямое движение у периодических комет с коротким обращением и некоторые другие соображения об их перигельных расстояниях, которые мы укажем,— все это противоречит гипотезе *немедленного*

превращения параболических орбит в эллиптические орбиты с коротким обращением.

Рассмотрим теперь ближе те кометы, которые собственно называются периодическими и продолжительность оборотов которых меньше 100 лет.

Элементы этих комет представлены в следующей таблице, в которой мы опустили две кометы с коротким обращением, именно 1766 II и 1783, элементы которых ненадежны[43].

I

		i	π	☊	e	q	T	
1.	Галлея	17°7	304°5	55°2	0.9673	0.590	76.0	О
	1812	74.0	92.3	253.0	0.9545	0.777	70.7	П
	1815	44.5	149.0	83.5	0.9312	1.213	74.1	П
	1846 IV	85.1	90.4	77.6	0.9621	0.664	73.3	П
	1847 V	19.1	79.1	309.8	0.9726	0.488	75.0	П
	1852 II	40.9	43.2	346.2	0.9187	1.250	60.3	П
2.	1866 I	17.3	60.5	231.4	0.9034	0.977	32.5	О
	1867 I	18.2	75.9	78.6	0.8491	1.572	33.6	П
3.	1846 VI	30.4	240.1	260.5	0.7213	1.533	14.2	П
	1855 II	23.2	239.5	260.2	0.9040	0.565	14.3	О
	1858 I	54.4	115.9	269.0	0.8209	1.036	13.7	П
4.	1678	2.9	322.8	163.3	0.6270	1.145	5.50	
	Энке	13.1	158.0	334.5	0.8467	0.343	3.31	
	Брорзена	29.4	116.2	101.3	0.8098	0.590	5.46	
	Лекселя	1.6	356.3	132.0	0.7868	0.674	5.63	
	Де Вико	2.9	342.5	63.8	0.6177	1.186	5.47	
	Д'Арре	13.9	322.9	148.5	0.6593	1.326	6.69	
	Тэмпеля (2)	12.8	306.1	120.9	0.5526	1.345	5.21	
	Биела	12.6	109.1	245.9	0.7559	0.860	6.61	
	Виннеке	10.8	275.6	113.5	0.7541	0.769	5.73	
	Тэмпеля (1)	9.7	238.2	78.7	0.4630	1.770	5.98	
	1881 V	6.8	18.6	65.9	0.8304	0.726	8.83	
	1858 III	19.5	200.8	175.1	0.6737	1.149	6.61	
	1819 IV	9.0	67.3	77.2	0.6868	0.893	4.81	
	Фая	11.4	50.8	209.6	0.5490	1.738	7.57	
	Тэмпеля (3)	5.4	43.1	296.8	0.6553	1.067	5.45	
	1873 VII	26.5	85.5	248.6	0.7703	0.775	6.20	
	1884 II	5.5	306.2	5.2	0.5825	1.279	5.40	
	1884 III	25.3	19.0	206.4	0.5600	1.572	6.80	

Все последние кометы имеют прямое движение.

Совершенно невозможно отрицать влияния больших планет и в особенности Юпитера на устройство этого интересного мира, но имея в виду непререкаемые факты деления кометных ядер под действием извержения, которое необходимо должно видоизменить орбиты отделившейся части, нужно исследовать более внимательно роль этого деятеля, по крайней мере в общих чертах, если это невозможно в каждом отдельном случае.

Мы уже сказали и скоро увидим еще яснее, что перигельное расстояние производящей кометы имеет большое влияние на величину толчка, который должен произвести данное изменение. Рассмотрение перигельных расстояний в этом смысле очень полезно, и число параболических комет уже достаточно велико, чтобы позволить сделать некоторые статистические обзоры. Перигельные расстояния 290 непериодических комет, расположенные в порядке их величины, представлены в следующем списке, в котором мы опустили номера комет, служащие для обозначения порядка их появления в одном и том же году.

II

Комета	q	Комета	q	Комета	q	Комета	q
1680	0.01	1769	0.12	1677	0.28	1857	0.37
1843	0.01	1830	0.13	1854	0.28	240	0.37
1880	0.01	1827	0.14	1860	0.29	1843	0.38
1882	0.01	1851	0.14	1853	0.31	1870	0.39
1887	0.01	1582	0.17	1883	0.31	1618	0.39
1689	0.02	1853	0.17	1848	0.32	1808	0.39
1826	0.03	1577	0.18	1299	0.32	1786	0.39
1865	0.03	1826	0.19	1533	0.33	1506	0.39
1847	0.04	1859	0.20	1867	0.33	1766	0.40
1874	0.04	1758	0.22	1847	0.33	1793	0.40
1816	0.05	1774	0.22	1449	0.33	1845	0.40
1882	0.06	1737	0.22	1686	0.34	1706	0.43
1593	0.09	1844	0.25	1757	0.34	1785	0.43
1821	0.09	1801	0.26	1819	0.34	1661	0.44
1780	0.10	1886	0.27	1787	0.35	1881	0.45
1665	0.11	1558	0.28	1880	0.35	1833	0.46

Комета	q	Комета	q	Комета	q	Комета	q
1362	0.47	1799	0.63	864	0.77	1874	0.89
1472	0.48	1846	0.63	1385	0.77	1771	0.90
1886	0.48	1863	0.63	1742	0.77	1879	0.90
1433	0.49	1864	0.63	1857	0.77	1845	0.91
1556	0.49	1881	0.63	1863	0.77	1852	0.91
1798	0.49	1886	0.64	1781	0.78	1853	0.91
1847	0.49	1702	0.65	1798	0.78	1864	0.91
1763	0.50	1807	0.65	1812	0.78	1830	0.92
1822	0.50	1854	0.65	—69	0.79	1861	0.92
1842	0.50	1871	0.65	1863	0.79	1092	0.93
1874	0.50	1846	0.66	1873	0.79	1864	0.93
1618	0.51	1880	0.66	1759	0.80	1231	0.95
1766	0.51	1739	0.67	1790	0.80	1746	0.95
1827	0.51	1770	0.67	1854	0.80	1877	0.95
1834	0.51	1860	0.68	1862	0.80	574	0.96
1532	0.52	1874	0.68	1827	0.81	1366	0.96
1743	0.52	1871	0.69	1877	0.81	1684	0.96
1780	0.52	565	0.70	1269	0.82	1781	0.96
1770	0.53	1457	0.70	1861	0.82	1849	0.96
1797	0.53	1672	0.70	1337	0.83	1862	0.96
1858	0.54	1813	0.70	1846	0.83	1882	0.96
961	0.55	1818	0.70	1695	0.84	1759	0.97
1683	0.56	1779	0.71	1743	0.84	1792	0.97
1764	0.56	1784	0.71	1748	0.84	1810	0.97
1857	0.56	1863	0,71	1799	0.84	1851	0.98
1590	0.57	1698	0.73	1861	0.84	1862	0.98
1596	0.57	1873	0.73	1886	0.84	1866	0.98
1850	0.57	1881	0.73	1468	0.85	1874	0.98
1855	0.57	1881	0.73	1822	0.85	1879	0.99
1378	0.58	1097	0.74	1826	0.85	1879	0.99
1858	0.58	1699	0.74	1652	0.85	1723	1.00
1868	0.58	1490	0.75	1707	0.86	1857	1.01
1701	0.59	1790	0.75	1818	0.86	1877	1.01
1824	0.59	1840	0.75	1844	0.86	1762	1.01
1881	0.59	1857	0.75	1737	0.87	—137	1.01
770	0.60	1885	0.75	1825	0.88	1870	1.01
1580	0.60	1491	0.76	568	0.89	1718	1.03
1808	0.61	1457	0.76	1819	0.89	1664	1.03
1840	0.62	1788	0.76	1825	0.89	1811	1.04
1748	0.63	1883	0.76	1849	0.89	1824	1.05

Комета	q	Комета	q	Комета	q	Комета	q
1788	1.06	1849	1.16	1863	1.31	1877	1.58
1804	1.07	1832	1.18	1854	1.36	1796	1.58
1850	1.08	1860	1.20	1886	1.36	1843	1.61
1885	1.08	1818	1.20	1846	1.38	1874	1.69
1871	1.08	1815	1.21	1878	1.39	1887	1.77
1806	1.08	1858	1.21	1858	1.43	1870	1.82
1863	1.09	1813	1.22	1783	1.46	1880	1.82
1877	1.09	1840	1.22	1847	1.48	1881	1.92
1585	1.09	1855	1.23	1840	1.48	1826	2.01
1853	1.09	1869	1.23	1846	1.48	1835	2.04
1802	1.09	1825	1.24	1847	1.48	1854	2.04
1864	1.11	1845	1.25	1793	1.50	1847	2.12
1773	1.13	1852	1.25	1846	1.53	1855	2.19
1785	1.14	1884	1.28	1884	1.57	1747	2.20
1678	1.15	1792	1.29	1867	1.57	1885	2.51
1822	1.15	1860	1.31	1811	1.58	1729	4.05

Изученные мною 44 большие кометы, которые показали образование и развитие ком, имеют следующие перигельные расстояния:

III

Комета	q	Комета	q	Комета	q	Комета	q
1472	0.57	1769	0.12	1853 IV	0.17	1877 II	0.95
1577	0.18	1807	0.65	1854 II	0.28	1880 I	0.01
1580	0.60	1811	1.04	1854 III	0.65	1881 III	0.74
1582	0.17	1819 I	0.34	1857 III	0.37	1881 IV	0.63
1618	0.39	1823	0.28	1858 V	0.58	1882 I	0.06
1652	0.85	1825 IV	1.24	1860 III	0.29	1882 II	0.01
1664	1.03	1835 III	0.59	1861 II	0.82	1884 I	0.78
1665	0.11	1843 I	0.01	1862 III	0.96	1886 Fab.	0.64
1680	0.01	1844 III	0.25	1863 IV	0.71	1886 Barn.	0.48
1682	0.58	1853 II	0.91	1865 I	0.23	1886 I	0.66
1744	0.22	1853 III	0.31	1874 III	0.68	1887 I	0.01

Эти расстояния редко превосходят единицу, и их среднее арифметическое q=0.48. Итак, видно, что кометы, у которых q заметно превосходит единицу, обладают лишь слабой способностью

к развитию явлений извержения и к порождению новых комет. Пробегая список элементов периодических комет, мы замечаем, что их перигельные расстояния всегда значительны. Среднее арифметическое расстояние для комет четвертой группы составляет 1.07.

4

Посмотрим теперь, какую роль играет расстояние q в преобразовании орбиты процессом извержения.

Прежде всего здесь важно отметить, что при допустимой величине толчка j происходит лишь незначительное изменение в перигельном расстоянии (см. формулы и вычисления в моей записке о происхождении падающих звезд) [44].

Принимая $j = 0.05$, вычислим, каковы будут большие полуоси a и времена обращения T у периодических комет, порожденных параболическими кометами с заданными расстояниями q, если извержение имело место при аномалии $v = 90°$, когда j имеет минимальную величину для получения тех же самых a и T.

Вот результат этого вычисления:

q	a	T (лет)
0.05	3.2	5.7
0.1	4.5	9.6
0.2	5.8	14.1
0.3	7.9	22.2
0.4	9.1	27.7
0.5	10.2	32.9
0.6	11.3	37.8
0.7	12.2	42.6
0.8	13.1	47.2
0.9	13.9	51.8
1.0	14.8	56.4

Положим теперь $j = 0.04$ и посмотрим, какое изменение последует в a и T производных комет.

q	a	T (лет)
0.05	4.0	7.9
0.8	16.2	65.4
0.9	17.2	71.6

Этих же примеров достаточно, чтобы дать понятие об изменениях T, произведенных изменением j на 0.01.

Среднее арифметическое перигельных расстояний всех параболических комет равно 0.832. Но при $j = 0.0375$ мы получаем для производной орбиты: $a = 17.6$, $T = 73.8$.

Среднее арифметическое перигельных расстояний 14 комет, у которых $q < 0{,}1$, есть $q = 0.038$, и при $j = 0.0375$ мы получаем $a = 3.7$, $T = 7.1$.

Для комет, показавших явления развития комы, среднее арифметическое $q = 0.48$, и при $j = 0.04$ мы получаем для производной орбиты $a = 12.5$, $T = 44.1$.

Среднее для всех комет, перигельные расстояния которых заключены между 0.01 и 1.0, есть $q = 0.59$, и при $j = 0.04$ находим для производной орбиты: $a = 13.9$, $T = 15.7$.

Вычислим теперь для $q = 0.04$ величины j, которые необходимы для образования периодических комет четырех групп:

	a	T	j
1)	17.6	73.8	0.008
2)	10.3	33.1	0.014
3)	5.8	14.1	0.024
4)	3.3	6.0	0.043

Все эти числовые данные приводят нас к некоторым общим соображениям. В наших вычислениях мы всегда предполагали, что импульс направлен к Солнцу вдоль радиуса-вектора.

С помощью наших формул легко представить себе случай, когда этот импульс отклоняется от радиуса-вектора. Однако если иметь в виду средние значения, то достаточно рассматривать среднее направление толчка, иначе говоря то, которое совпадает с радиусом-вектором.

Во многих случаях доказано действие Юпитера на видоизменение орбит комет, которые проходили недалеко от него. С другой стороны, каждое удвоение ядра кометы также приводит к видоизменению орбиты, а подобное удвоение есть факт, тоже засвидетельствованный наблюдением. Мы видели для комет 1843 I, 1880 I и 1882 II, каковы могут быть результаты извержения даже очень незначительной интенсивности.

Итак, нужно учитывать оба этих деятеля для объяснения происхождения периодических комет, но определить относительное преобладание того или другого из них невозможно. Когда комета стала периодической, особенно с временем обращения незначительным, действие Юпитера стремится укоротить ее большую ось, удлиняя ее перигельное расстояние. Достаточно сделать очень простое графическое построение, чтобы показать необходимость этих двух изменений[45]. Отметим также, что при прочих равных условиях тот же самый численный результат этих изменений требует гораздо меньше времени в случае кометы с прямым движением, чем в случае обратной кометы.

Мы находим по табл. II, что перигельные расстояния всех параболических комет (290) дают в среднем 0.83; у периодических комет четвертой группы преобладают q, превосходящие единицу, и их среднее для этих комет есть 1.07. Независимо от того или иного способа происхождения этих комет это увеличение q естественно происходит от действия Юпитера и его значительная величина (0.24) показывает, в то же время, что длительность этого действия намного превосходит число веков, в течение которых человек наблюдает кометы. По известным исследованиям проф. Ньютона перигельные расстояния метеоритов заключаются между 0.5 и 1.0, в то время как для четверти (73) всех параболических комет перигельные расстояния находятся между 0.01 и 0.5 (табл. II).

Наклонения i в четвертой группе не превосходят 30°, а их среднее — только 13°,— это также результат возмущений больших планет, главным образом Юпитера.

Весьма важным фактом является отсутствие обратных движений в четвертой группе, в то время как в других группах встречаются все наклонения и даже обратные движения. В числе метеоритов, изученных проф. Ньютоном, только 9% имеют обратное движение.

Отсюда можно сделать вероятный вывод, что кометы четвертой группы имели в весьма отдаленном прошлом время обращения гораздо большее, такое, например, которое относится к какой-либо из остальных групп, и что обратные кометы разложились на метеоры до того, как они заняли место в четвертой группе, ибо действие планет на обратные кометы,— как мы уже говорили,— должно быть гораздо более медленным, чем на кометы прямые.

Непрерывное разложение периодических комет на метеоры уменьшает все более и более их массу — до полного разрушения; примеры: комета Биела, комета Лекселя, комета де Вико и т. д.

Принимая во внимание распределение комет на четыре группы, интересно отметить следующие соотношения между временами обращения этих комет и наших главных планет.

Средняя длительность обращения в четвертой группе 5.96 лет, то есть половина времени обращения Юпитера.

Времена обращения Юпитера и Сатурна дают в среднем 13.3 лет, а длительность обращения третьей группы 14 лет.

Три оборота Юпитера и один оборот Сатурна дают в арифметическом среднем 32.5 года, а средняя длительность оборота во второй группе — 33 года.

Наконец, шестикратный оборот Юпитера дает 71.2 года, а средний оборот первой группы — 73.8 года.

Пробегая список комет четвертой группы, мы находим целое семейство, члены которого представляют замечательное сходство во всех их элементах: это кометы Лекселя, Вико, д'Арре, Тэмпеля (2) и комета 1678, если только эта последняя не идентична с какой-либо из четырех остальных.

Кажется почти очевидным, что они были порождены одной кометой, именно путем разложения вследствие извержений. На самом деле было бы гораздо менее вероятно приписывать их происхождение четырем или пяти различным параболическим кометам, элементы которых по чистой игре случая испытали бы одно и то же видоизменение, откуда и произошло их сходство.

Можно сказать почти то же самое о кометах 1672, Понса-Брукса и Тэттля. Последняя из них обладает бо́льшим перигельным расстоянием, чем остальные, но длительность ее обращения также гораздо меньше, а следовательно, увеличение ее перигельного расстояния могло стать более значительным за то же самое время.

Кажется, что можно произвести комету Энке из большой кометы 1231; однако элементы этой последней слишком неточны: по этим элементам расстояние q слишком велико, чтобы отсюда могли быть выведены непосредственно время обращения и перигельное расстояние кометы Энке [46].

Вообще нужно повторить еще раз, что промежуток в две тысячи лет слишком мал, чтобы был шанс найти в нем с некоторой уверенностью производящую комету для той или иной периодической кометы.

Москва, 8 апреля (27 марта) 1889 г.

(B. M., 1889, № 2; A. M., série 2, vol. II)



ИНТЕРЕСНЫЕ СВОЙСТВА МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ

1

В моей записке о падающих звездах я показал, каким образом кометы, через посредство их аномальных хвостов, становятся производительницами метеоров. В этих аномальных хвостах частицы подвержены только силе всемирного тяготения; они отрываются от кометной массы начальным толчком j, направленным к Солнцу, и описывают орбиты, отличающиеся друг от друга сообразно значениям j и угла J, образованного направлением толчка с радиусом-вектором ($+J$ назад от радиуса и $-J$ вперед от этого радиуса).

Различие орбит и их времен обращения столь велико, что оно заключает в себе вообще возможность ежегодного повторения явления с переменной и более или менее значительной интенсивностью.

Внимательное рассмотрение указало мне позже на важные обстоятельства, объясняющие появление интенсивных потоков, разделенных многими годами (Леониды, Андромедиды).

Чтобы меня лучше поняли, я должен начать с нескольких таблиц, показывающих разнообразие производных орбит, вызванное разницей в углах J и толчках j.

Пусть A — большая полуось орбиты частицы; T — время ее обращения; Q — расстояние перигелия; P — полупараметр, Ψ — угол оси этой орбиты с осью производящей орбиты (плюс когда перигелий частицы находится сзади от перигелия кометы);

R — радиус-вектор производной орбиты для точки диаметрально противоположной точке извержения. Точки извержений определяются радиусом-вектором r и аномалией v.

В табл. I производящая орбита — парабола с перигельным расстоянием $q = 0.5$; $j = 0.1$.

В табл. II производящая орбита — эллипсис, имеющий размеры орбиты кометы Биела.

В табл. III парабола та же самая ($q = 0.5$), но $j = 0.02$.

В табл. IV $j = 0.1$ и угол J изменяется от градуса к градусу между +18° и —18°. Первый столбец J относится к точке орбиты кометы Биела, в которой $r = 1$ и $v = +47°.5$; во втором столбце $r = 1$, $v = -47°.5$; третий столбец относится к точке параболической орбиты ($q = 0.88$), где $r = 1$, $v = +40°.5$.

I

$j = 0.1 \qquad q = 0.5$

J	A	T	Q	P	Ψ	R
			$r = 0.5 \quad v = 0°$			
+30°	5.263	12.07	0.499	0.950	+6°.2	7.109
+20	7.886	22.15	0.499	0.966	+6.0	14.140
A			$r = 0.75 \quad v = 70°31'.7$			
+30°	3.372	6.19	0.498	0.923	+3°.8	1.198
0	5.601	13.26	0.525	1.000	—2.1	1.500
—30	33.333	192.45	0.541	1.073	—6.4	1.881
B			$r = 1.00 \quad v = 90°$			
+30°	3.799	7.41	0.482	0.902	+6°.4	0.822
0	5.263	12.07	0.526	1.000	0.0	1.000
30	15.823	62.94	0.561	1.103	—6.1	1.229
C			$r = 1.25 \quad v = 101°32'.2$			
+30°	4.172	8.52	0.465	0.879	+8°.0	0.678
0	5.379	12.48	0.526	1.000	+1.3	0.833
—30	12.550	44.46	0.581	1.134	—6.0	1.038

D $r = 1.50$ $v = 109°30'.0$

+30°	4.546	9.69	0.450	0.855	+9°.0	0.598
0	5.599	13.25	0.524	1.000	+2.1	0.750
—30	11.530	39.15	0.593	1.155	—5.5	0.939

II

$j = 0.1$ $a = 3.5252$

J	A	T	J	A	T
		$r = 1,$		$v = -47°.5$	
+45°	2.608	4.21	+45°	1.955	2.73
0	5.463	12.77	0	2.745	4.56
—45	27.988	148.07	—45	6.103	15.08

III

$j = 0.02$ $q = 0.5$

J	A	T	Q	P	Ψ
		$r = 0,50$	$v = 0°$		
+30°	25.25	126.9	0.500	0.990	+1°.1
0	—	—	—	—	—
—30	—	—	—	—	—
		$r = 0.75$	$v = 70°31'.7$		
—30°	17.01	70.13	0.500	0.985	+0°.6
0	26.79	138.63	0.505	1.000	—0.4
—30	178.57	2386.20	0.508	1.015	—1.3
		$r = 1.00$	$v = 90°$		
+30°	18.44	79.16	0.497	0.980	+1°.2
0	25.25	126.90	0.505	1.000	0.0
—30	70.23	588.47	0.512	1.020	—1.2
		$r = 1.25$	$v = 101°32'.2$		
+30°	20.19	90.75	0.494	0.975	+1°.5
0	25.77	130.85	0.505	1.000	+0.2
—30	56.82	428.28	0.515	1.025	—1.1

$r = 1.50 \quad v = 109°28'.2$

+30°	21.93	102.70	0.491	0.970	+1°7
0	26.79	138.63	0.505	1.000	+0.4
—30	52.82	383.84	0.518	1.030	—1.0

IV

$j = 0.1 \quad r = 1$

J	1) *T*	2) *T*	3) *T*	*J*	1) *T*	2) *T*	3) *T*
+18°	3.50	6.99	14.70	— 1°	4.72	12.36	41.61
17	3.55	7.14	15.27	2	4.81	12.79	45.44
16	3.60	7.33	15.83	3	4.90	13.24	49.90
15	3.64	7.53	16.48	4	5.00	13.72	55.25
14	3.69	7.75	17.12	5	5.10	14.25	61.64
13	3.74	7.96	17.83	6	5.20	14.84	69.37
12	3.80	8.20	18.54	7	5.31	15.46	78.85
11	3.86	8.43	19.53	8	5.43	16.06	90.99
10	3.92	8.70	20.52	9	5.54	16.74	106.24
9	3.98	8.95	21.62	10	5.67	17.46	126.77
8	4.04	9.24	22.72	11	5.80	18.16	154.89
7	4.10	9.51	24.07	12	5.93	18.96	195.18
6	4.17	9.83	25.42	13	6.07	19.80	258.18
5	4.24	10.16	27.06	14	6.21	20.68	358.57
4	4.32	10.48	28.69	15	6.36	21.62	557.85
3	4.39	10.82	30.79	16	6.52	22.68	1046.70
2	4.47	11.18	32.89	17	6.68	23.78	3057.70
+ 1	4.55	11.54	35.85	—18	6.84	24.92	Бесконечн.
0	4.63	11.96	38.80				

Для угла $J = 0$, как показывает табл. I, радиус-вектор R в точке, диаметрально противоположной точке выхода частиц, равен радиусу-вектору производящей параболы, которому соответствует аномалия $180° — v$. Так, для точки A аномалия радиуса-вектора R будет $180°—70°32' = 109°28'$. Числа табл. I иллюстрированы на рис. 3. Малая буква a, с индексом и без него, относится к той же самой точке выхода A и т. д. Ось параболы — OO.

Заметим мимоходом, что для параболы уже в перигелии эллиптические орбиты не производятся для всех направлений j

и, следовательно, часть параболы до перигелия *вообще* не способна порождать метеорные орбиты; в эллипсисе, напротив,

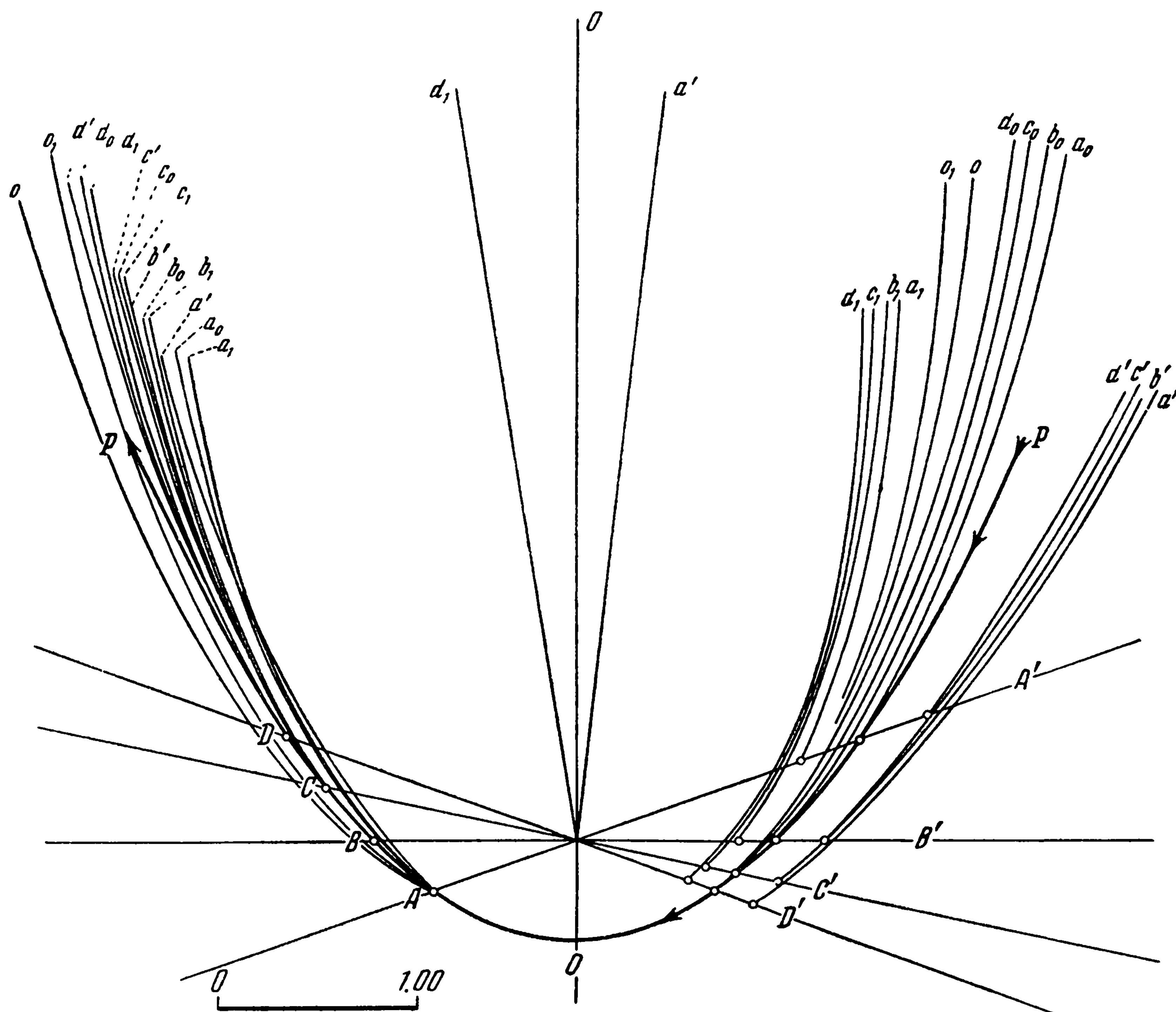


Рис. 3

даже для пределов J более широких (например, $\pm 45°$), эллипсисы производятся до перигелия, на значительном расстоянии от этой точки.

Для больших значений q, приближающихся к единице и превосходящих ее, парабола начинает производить эллипсисы в своей части до перигелия и в довольно больших пределах *положительных* J.

Наглядным образом сравнение табл. I и II показывает, что в параболе пучок метеорных орбит отличается большей, так сказать, *разбросанностью* в отношении времен обращения T; это-то и обусловливает годичные повторения, напряженность которых может быть более или менее изменчива. Для эллипсиса пучок этот, даже для более широких пределов J, гораздо менее разбросан относительно T, особенно в части после перигелия, где преимущественно наблюдались аномальные хвосты, связанные с образованием метеоров.

Итак, в случае эллипсиса нужно ожидать скудости, а по временам даже и полного перерыва, в годичных появлениях метеоров; взамен того они должны быть особенно богаты в известные эпохи, когда частицы центральной и более густой, конечно, части конуса извержения будут встречаться с Землей.

Вообще, чем менее растянут производящий эллипсис, тем резче должны обозначаться эпохи максимумов между прочими годами. С возрастанием большой оси производящего эллипсиса максимумы делаются менее выступающими, и, наконец, в случае параболы явления будут сравнительно бедны, но зато ежегодны.

Как крайний предел сравнения можем взять производящий круг с радиусом $r = 1$; для величины $j = 0.1$ и для углов $J = +45°, 0°, -45°$ получим соответственные времена обращения: 0.83, 1.02, 1.28 года. Видно, до какой степени здесь сужен пучок эллиптических орбит в отношении времен обращения.

Табл. IV придает всем этим соображениям еще бóльшую наглядность.

Наиболее густая часть пучка истечения, выходящая не из *точки*, но из некоторой *поверхности*, должна иметь форму цилиндра или слегка раскрытого конуса, следовательно, углы J в этой части имеют очень тесные пределы. Частиц, вышедших под углами J вне этих пределов, будет сравнительно меньшее количество, и их направления послужат к расширению площади

радиации, которая свелась бы к точке в случае совершенно цилиндрического извержения.

Далее, естественное и нормальное направление сгущенной части извержения должно находиться, конечно, у $J = 0$ или близко к нему.

Возьмем в табл. IV конус истечения с пределами около $\pm 5°$; первый столбец дает нам для этого крайние времена обращения: 4.2 и 5.1 лет, с разницей менее одного года. Следовательно, период явления будет около 5 лет.

Примечание. Не будет ли всегда явление слабым, даже в его максимуме, если оно порождается только тонким дифференциальным слоем частиц, перпендикулярным к плоскости орбиты? Нет, ибо подобный же слой со временем обращения $T + dT$ придет на подкрепление к первому из точки орбиты, где радиус-вектор есть $r + dr$, и т. д.

Явления других лет будут производимы только стечением частиц с разными временами T и с углами J вне допущенных пределов. Но эти явления будут слабее, ибо их частицы не принадлежат к центральной густой части и, кроме того, различие времен очень умеренно в первом столбце табл. IV.

В третьем столбце те же пределы J ($\pm 5°$) дают менее густой слой для максимума при прочих равных условиях, ибо для этих сжатых пределов мы уже нашли, что различие во временах достигает до 34 лет; зато годичные появления обеспечены для этих 34 лет; что касается других лет, стечение частиц будет более сильно для каждого года, имея в виду громадное разнообразие времен обращения для различных J.

Я настаиваю на только что изложенной идее, потому что ее тщательно рассмотренные подробности в каждом частном случае могут послужить к преодолению кажущихся трудностей.

2

Мы сказали выше, что с возрастанием большой оси производящего эллипсиса максимумы явления становятся слабее, но повторяются они ежегодно.

В *Андромедидах* (27 ноября), где производящий эллипсис имеет лишь 6.62 лет обращения, максимумы разделены промежутками в 13 лет, и в этих промежутках явление очень слабо. *Леониды* имеют производящий эллипсис с обращением в 33.2 года, и их максимум повторяется в среднем через 33 года; однако явление довольно значительно и в годы, соседние с максимумами. Производящая орбита тут более растянута, и годичные повторения, таким образом, дают уже себя чувствовать. *Аквариды* принадлежат комете, обращение которой равно 76 годам; они наблюдаются ежегодно (4 мая) в небольшом числе.

В *Персеидах* производящая орбита имеет время обращения в 120 лет; их наблюдают каждый год, и эпохи максимумов имеют большую продолжительность.

Этот предмет заслуживает более внимательного исследования, к которому мы и перейдем.

Для кометы Биела встреча Земли и производящей орбиты имеет место в части до перигелия; здесь угол $\beta = 110°13'.8$, $1 : a = 0.283640$, $H^2 = 1.716360$; для метеоров имеем: $T = 13$, $1 : A = 0.180872$, $H_1^2 = 1.819128$; откуда (см. формулы нашей записки о падающих звездах) получаем: $j = 0.14$ для угла $J = 0°$. При значении $j = 0.1$ имеем $T = 13$ для угла $J = -13°$ [47].

Таким образом, для мощного извержения, породившего Андромедиды, можно принять то или иное значение j, которому соответствует определенное направление (J) центральной и густой части извержения. Нужно отметить, что рассмотрение площадей радиации всегда показывает необходимость увеличить число j, которое принято до сих пор и которое можно вывести из размеров голов комет только с довольно грубым приближением. В метеорных явлениях масштаб действия этого толчка гораздо более расширен и, следовательно, более удобен для обнаружения истинных значений j.

Нужно ли принять, что одно-единственное извержение послужило образованию данного метеорного потока, или нужно предположить ряд извержений при нескольких приближениях к Солнцу, — это вопрос, каждый частный случай которого

следует обсуждать особо. Постоянная и правильная периодичность максимумов явится, безусловно, доказательством первого предположения, и наоборот. Кажется, в Леонидах мы имеем первый случай, или по крайней мере там чрезвычайно преобладало одно извержение. Андромедиды заставляют предполагать повторные извержения, и т. д.

Перейдем теперь к Леонидам, период которых обнимает 33 года. Элементы кометы 1866 I, данные Оппольцером (Astr. Nachr., B. 68, p. 249), следующие:

$$\pi = 42°\,24' \qquad e = 0.90542$$
$$\Omega = 231\,26 \qquad a = 10.32479$$
$$\lg q = 9.98968 \qquad U = 33.1756 \text{ года}$$
$$i = 162°42'$$

Неточность во времени обращения превышает один год, согласно Оппольцеру.

Земля проходит чрез нисходящий узел орбиты после перигелия ядра при аномалии

$$v = +\,9°2'10'',\ \beta = 85°42'29'' \text{ и } \lg r = 9.922486.$$

Для времени обращения $T = 33$ года имеем: $H^2 = 1.93917$, $H_1^2 = 1.93882$.

С помощью этих чисел получаем для $j = 0.1$ величину $J = -\,2°10'$, для $j = 0.15$ $J = -\,1°9'$, для $j = 0.2$ $J = -\,0°8'$.

Несколько бо́льшая величина U дает J несколько меньше при одном и том же j.

Чтобы составить себе представление об изменениях величин J и j изменениями времен U и T, положим сперва, что $T = 30$; тогда $j = 0.1$ даст $J = -6{,}^\circ1$; для $j = 0.15$ будет $J = -5{,}^\circ7$.

Принимая время обращения T в 35 лет, будем иметь при тех же значениях j соответственные значения J: $-\,7{,}^\circ6$, $-6{,}^\circ7$.

Величина $U = 34.36$ дает $T = 33.25$ для $j = 0.2$ и $J = 0$.

Из приводимых чисел вообще видно, что небольшое изменение в направлении густой части конуса извержения влечет для

той же величины j значительное изменение во времени обращения метеоров. Ясно, что даже очень узкий конус будет распределен на несколько лет и около эпохи максимума произойдут более слабые явления в соседние годы.

Не нужно упускать при этом из виду, что частицы, встречающие Землю при этих явлениях, будут иметь времена обращения различные, соответствующие их углам J.

Допустим теперь, что обильные появления потока происходят от одного мощного извержения, и вычислим времена обращения для каждого появления.

Пусть t будет момент образования метеоров (извержения их) в одном из узлов ядра, где $r = 1$; метеоры эти получили разные времена обращения T, и Земля приходит к этому узлу в момент t', то есть через промежуток времени $t'—t$, где $t'—t$ положительно и менее одного года.

Для того чтобы Земля могла встретить некоторые частицы через целое число лет m, нужно, очевидно, чтобы их время обращения было $T = m + (t' - t)$. Следующая встреча будет иметь место с частицами, для которых

$$2T' = m' + (t' - t);$$

для третьей встречи

$$3T'' = m'' + (t' - t) \text{ и т. д.}$$

При второй встрече могут также находиться частицы, для которых

$$T_1 = 2m + (t' - t) \text{ и т. д.};$$

но мы имеем в виду только частицы центральной и более густой части извержения.

Мы не в состоянии определить для данного потока момент t; но если этот поток довольно древний, как, например, поток *Леонид*, то промежуток $t'—t$ при определении T будет делиться

на значительное число и не окажет влияния на величину периодического времени максимумов.

Самое древнее из известных появлений *Леонид* относится к 902 г. Допустим, что это — первое появление после производящего извержения.

Комета 1866 I находилась в нисходящем узле своем в 1866.06, прохождение через тот же узел, отсчитывая 30 обращений Оппольцера назад, было в 870.78,— это наше t. Для соответственного прохождения Земли в том же году $t' = 870.87$.

Следующая табличка дает времена *узла* n, годы появлений a, числа совершившихся обращений частицы u и времена обращений частиц T, встретившихся с Землею. Звездочка обозначает появления до и после максимумов.

n	a	u	T
903.96	902	1	32.09
—	931	2	30,55
937.14	934	2	32.05
1003.46	1002	4	33.02
1102.99	1101	7	33.01
1202.52	1202	10	33.21
1368.40	1366	15	33.07
1534.28	1533	20	33.15
1600.63	1602	22	33.28
1700.16	1698	25	33.12
1799.69	1799	28	33.18
—	1823*	29	32.86
1832.88	1832*	29	33.17
—	1833	29	33.21
—	1834*	29	33.24
—	1863*	30	33.10
1866.06	1866	30	33.20
—	1868*	30	33.27

Принимая $U = 34.363$, имеем $t' - t = 0.34$ при $t = 869.53$, взяв 29 обращений назад, и при $t' = 869.87$, и отсюда получаем следующую табличку:

n	*a*	*u*	*T*
903.90	902	1	33.34
—	931	2	31,17
938.26	934	2	32.67
1006.99	1002	4	33.33
1110.08	1101	7	33.19
1213.17	1202	10	33.33
1350.62	1366	15	33.16
1522.44	1533	20	33.22
1591.16	1602	22	33.33
1694.25	1698	25	33.17
1797.34	1799	28	33.22
—	1823	29	32.91
1831.70	1832	29	33.22
—	1833	29	33.25
—	1834	29	33.28
—	1863	30	33.14
1866.06	1866	30	33.24
—	1868	30	33.31

Явление 1823 г. очень отдалено от ближайшего узла, и по кольцевой теории это требует почти полного кольца, что несовместимо с другими фактами. Вот почему допускают деление этого кольца на несколько частей.

Для Андромедид данные наблюдений довольно бедны, и приходится ограничиться их появлениями в 1872 и 1885 гг.

Прохождение ядра (или его геометрического места) через нисходящий узел имело место в 1885.81. Предполагая, что это было первое появление Андромедид, и отсчитывая 8 оборотов по 6.62 лет каждый, получаем для соответствующего прохождения 1832.85. Принимая это число за t, получаем для t' 1832.90, откуда $t' - t = 0.05$, и табличка для Андромедид будет следующей:

n	*a*	*u*	*T*
1872.57	1872	3	13.35
1879.19	—	—	—
1885.81	1885	4	13.26

Если появление в 1838.93 принадлежит Андромедидам, нужно считать, что оно произошло от извержения в точке с аномалией $v = -47°$. Итак, для частиц этого извержения будем иметь $T = 5.8$ лет, и на самом деле в табл. IV мы находим это T для $J = -11°$.

Однако это появление, как и появление в 1798 г., имело место 6 декабря, а не 28 ноября. Поэтому нужно еще доказать их родственность с кометой Биела.

Персеиды принадлежат к комете 1862 III, орбита которой очень вытянута, и, следовательно, их появления происходят ежегодно.

Однако центральная часть конуса извержения ($J = 0$) должна дать собственно резкое обилие метеоров. Земля встречает орбиту в нисходящем узле, где аномалия $v = +22°29'40''$ и $\beta = 78°58'50''$.

Для $j = 0.1$ и $J = 0$ имеем: $H^2 = 1.959241$ и $H_1^2 = 1.915730$, откуда $T = 41$ год.

Необычайное обилие как будто было отмечено в конце прошлого столетия и потом около средины нынешнего.

Менее резкие усиления и ослабления явления были замечены во второй половине текущего столетия. Эти факты приводят к предположению о неоднократных вторичных извержениях.

И на самом деле при последнем появлении кометы был виден аномальный придаток, являющийся вообще источником метеоров.

Орбита Лирид в отношении образования метеоров уже обладает свойством параболических орбит.

3

Говоря о встрече Земли с кометной орбитой, мы всегда предполагали, что $r = 1$; однако иногда Земля проходит через линию узла на значительном расстоянии от пути ядра. Для кометы Биела, например, это расстояние доходит до 360 000 географич. миль [48]. В таких случаях встреча Земли с метеорами может быть объяснена двумя способами, которые отнюдь не исключают взаимно друг друга.

1. Орбита, к которой относятся элементы, отличается от действительной орбиты производящей, которая могла быть с течением времени изменена планетными возмущениями.

2. Земля встречает орбиты метеорных телец, происходящие не из точки кометного узла, но из некоторой другой точки орбиты; и эти тельца, следовательно, находятся на значительном расстоянии от пути ядра.

Пусть (рис. 4) S — Солнце, Sm — линия узла, m — точка на орбите кометы, a — положение Земли, когда она проходит через плоскость кометной орбиты, b — другая точка кометного пути, ab и т. д.— орбиты частиц. Точка b имеет такое положение, что метеорная орбита, вышедшая из этой точки, встречает Землю в a. Аномалия и радиус-вектор точки m суть соответственно v и r; для точки b они суть v' и r'. Далее имеем приближенно $Sbm = \beta'$, $abm = \gamma'$.

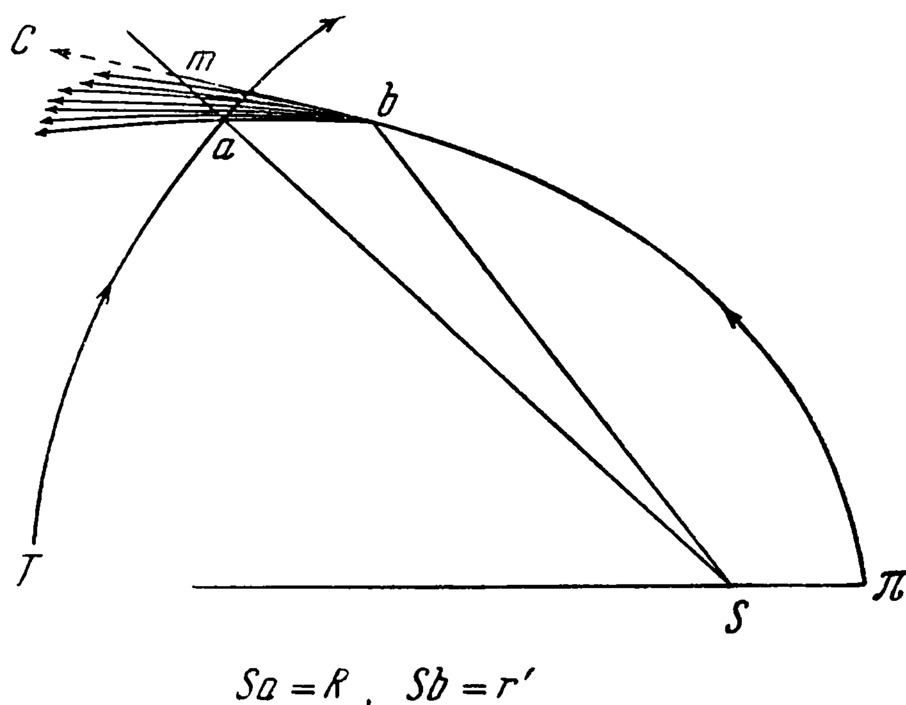


Рис. 4

Пусть

$$Sa = r + \Delta r = R.$$

Из треугольника bmS следует:

$$bm^2 = R^2 + r'^2 - 2Rr' \cos(v' - v); \qquad (1)$$

$$bm : \sin(v' - v) = R : \sin(\beta' + \gamma'). \qquad (2)$$

Несколько легких попыток укажут такое v', которое даст величину γ', равную той, которая находится с помощью формулы

$$\sin\gamma' = j \sin\beta' : H_1. \qquad (3)$$

Приложим наши формулы к комете Биела. Элементы ее орбиты (для 1846 г.) суть:

$$\pi = 109^\circ\ 5'\ 47''$$
$$\Omega = 245\ 56\ 58$$
$$\lg a = 0.5442926$$
$$\lg q = 9.9326238$$
$$e = 0.7554705$$

Для нисходящего узла аномалия $v = -43^\circ 8' 49''$, и для этой аномалии $\lg r = 9.9863512$, $\beta = 108^\circ 25' 16''$.

С помощью r и a найдем $H^2 = 1.77828$. Для метеоров с временем обращения $T = 13$ лет получаем $H_1^2 = 1.88298$, и для $J = 0$, иначе говоря, для центральной и густой части извержения, будем иметь $j = 0.11$.

Радиус-вектор Земли для момента прохождения через орбиту $R = 0.98627$, откуда $\Delta r = +\ 0.0172$.

Итак, Земля проходит довольно далеко от орбиты и не встречает частицы, вышедшие из точки m; будем искать точку b, неизвестная аномалия которой есть v'. Для этой аномалии мы найдем затем величины H_1 и γ'. В самом деле, попытки нам дают:

$$v = -\ 35^\circ 55',\ \beta = 105^\circ 22',$$

где $H^2 = 1.859018$, $H_1^2 = 1.963713$ — для времени $T = 13$ лет — и $j = 0.1237$; формулы (1), (2) и (3) дают то же самое значение $\gamma' = 4^\circ 53'$.

Итак, частицы, вышедшие из ядра при аномалии $v = -35^\circ 55'$ и под углом $J=0$, могут встречать Землю, которая пересекает плоскость орбиты в точке, для которой соответствующая аномалия ядра есть $-43^\circ 9'$.

Метеорные орбиты, как показывает рис. 4, образуют около орбиты производящей как бы род щетки, через которую Земля проходит, пересекая плоскость кометной орбиты. Чтобы лучше понять, какое участие принимают в образовании явления, во все время его видимости, частицы, вышедшие из разных точек

производящей орбиты, нужно иметь в виду примечание, помещенное в конце § 1.

Для Леонид аномалия нисходящего узла $v = +9°2'1''$ и $\beta = 85°42'29''$, $r = 0.98231$, $P = 0.98924$; следовательно, $\Delta r = 0.0069$.

Попытки дадут нам $v' = 11°40'1''$ и $\beta' = 84°23'29''$. Из нашего треугольника *amb* получим $\gamma' = 8°15'$, а из формулы (3) для $j = 0.2$ и H_1^2, соответствующего $T = 33$, находим почти такое же значение $\gamma' = 8°14'$.

Этого согласия совершенно достаточно для таких приближенных, по самой их сущности, вычислений. Те же соображения приложимы и тогда, когда Земля проходит через узел внутри орбиты кометы; как видно из рис. 4, она там встречает также подобную щетку метеорных орбит.

4

Интересно изучить, как располагаются в пространстве орбиты всех частиц, вышедших в заданный момент в виде конуса. Предположим, что конус круглый, и посмотрим: 1) какую форму будет иметь пучок всех орбит вблизи точки исхода (точка *B* на рис. 3), и 2) как они расположатся на линии узлов с другой стороны от Солнца.

Для решения первого вопроса, очевидно, следует найти углы γ для предельных значений углов J в плоскости орбиты, где $\varphi = 0°$ и $\varphi = 180°$, и потом вычислить угол x по формуле

$$\sin x = j \sin J : H_1,$$

которая соответствует $\varphi = 90°$ и $\varphi = 270°$ (см. формулы в моей статье о происхождении периодических комет).

Разность углов γ дает отверстие конуса орбит в плоскости кометной орбиты, а $2x$ — его отверстие в плоскости, перпендикулярной к первой.

Для кометы Биела до перигелия в точке, где $r = 1$, $\beta = 110°13'.8$. Предположим предельные углы $J \pm 45°$ и $j = 0.1$.

Из формулы

$$\sin\gamma = j\sin(\beta - J) : H$$

получаем предельные γ: 4°6′ и 1°43′; откуда отверстие конуса в плоскости орбиты, или его угловой диаметр в этой плоскости, есть 2°.4.

Для $\varphi = 90°$ и $\varphi = 45°$ имеем: $\lg H_1 = 0.12643$ и $2x = 6°.1$, что и будет угловым диаметром конуса в плоскости, перпендикулярной к орбите кометы. Отношение обоих диаметров равно 2.5 [49].

Таким образом, конус метеорных орбит вблизи точки исхода имеет эллиптическую форму. Для той же самой орбиты после перигелия и для тех же самых величин j и J имеем $\beta = 69°46'$; разность γ будет 1°.9 и $2x = 6°.3$, откуда отношение диаметров составит 3.3.

Для производящей параболической орбиты, при $q = 0.5$, $j = 0.1$, $J = \pm 30°$ и $r = 1$, разность γ равна 2°51′, а $2x = 4°.14$; откуда отношение диаметров будет 1.5. Форма конуса орбит остается эллиптической.

Перейдем к другой части поставленного вопроса.

Каждое сечение конуса извержения, перпендикулярное к плоскости орбиты и проходящее через ядро, даст, кажется, почти точку на продолжении линии узлов с другой стороны от Солнца. Другое подобное сечение даст другую точку. Таким образом, частицы, вышедшие из одной точки, расположатся на известном протяжении по прямой линии. Мы видим это уже по разностям величин R в табл. I. Но рассмотрим это расположение более подробно.

Предположим, что конус извержения круглый, $r = 1$ и предельная величина угла $J = 30°$. Пересечем этот конус плоскостями, перпендикулярными к орбите, проходящими через ядро и образующими различные углы D с осью конуса. Наибольший из этих углов будет 30°, и легко видеть, что

$$\operatorname{tg} D = \operatorname{tg} J \cos\varphi,$$

где $\operatorname{tg} J = \operatorname{tg} 30° = 0.577$, или 0.6 [50].

Вообразим какое-либо сечение, для которого, например, $\operatorname{tg} D$ равен почти 0.2, т. е. $\varphi = 70°$.

В этом сечении различным φ соответствует ряд различных J, и для каждого φ можно вычислить его J.

С этими J, принадлежащими одному и тому же сечению, перпендикулярному орбите, можно вычислить радиусы-векторы R для точек, где метеорные орбиты пересекаются с орбитой ядра в узле, противоположном узлу исхода.

Результаты этих вычислений приведены в следующей табличке, где показаны также наклонения ι метеорных орбит к орбите ядра.

1. Сечение находится сзади от радиуса-вектора r:

J	φ	ι	R
30°	70°	2°44ʹ.2	0.9389
25	64°56ʹ.8	2 14.0	0.9342
20	57 8.7	1 40.6	0.9307
15	42 31.7	1 1.3	0.9275
11°10ʹ.2	0 0.0	0 0.0	0.9260

2. Сечение спереди от радиуса-вектора:

30°	110°	2°38ʹ.7	1.0762
25	115° 3ʹ.2	2 9.3	1.0777
20	122 51.3	1 37.0	1.0794
15	137 28.3	0 59.0	1.0807
11°10ʹ.2	180	0 0.0	1.0812

По разностям R видно, что орбиты каждого сечения конуса в их противоположных узлах не пересекаются в одной точке, хотя их расстояния в этих точках невелики.

Чтобы узнать, какую форму имеют сечения, которые дают метеорные орбиты, пересекающиеся точно в одной точке, иначе говоря, с теми же самыми R в их противоположных узлах, сделаем следующие вычисления.

Сперва вычислим величины R для различных J в пределах 0° и 30° в плоскости орбиты, где $\varphi = 0°$ и $\varphi = 180°$; затем бу-

дем искать R для точек на поверхности конуса извержения, соответствующего различным φ, чтобы увидеть, как меняется R с изменением φ и J.

Для первого случая мы имеем углы γ, для второго случая — углы ι. В этих вычислениях мы берем также $q = 0.5$, $r = 1$, $r = 90$ и $j = 0.1$.

$\varphi = 0°$

J	30°	25°	20°	15°	10°	5°	0°
γ	1°7ʹ.5	1°29ʹ.0	1°49ʹ.7	2°9ʹ.4	2°27ʹ.1	2°45ʹ.1	3°0ʹ.0
R	0.8223	0.8470	0.8739	0.9028	0.9325	0.9660	1.0000

$\varphi = 180°$

J	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
γ	3°0ʹ.0	3°14ʹ.9	3°27ʹ.3	3°37ʹ.9	3°46ʹ.8	3°53ʹ.7	3°58ʹ.8
R	1.0000	1.0356	1.0726	1.1106	1.1495	1.1888	1.2281

Орбиты частиц, вышедших под углом $J = 0$, в противоположном узле пересекаются с самой орбитой кометы, где $R = 1.0$

$\varphi = 90°$

J	30°	25°	20°	15°	10°	0°
γ	2°51ʹ.7	2°25ʹ.2	1°57ʹ.5	1°29ʹ.0	0°56ʹ.5	0°0ʹ.0
R	1.0051	1.0030	1.0022	1.0014	1.0006	1.0000

$J = 30°$

φ	0°	15°	30°	45°	60°	75°
ι	0°0ʹ.0	0°46ʹ.7	1°29ʹ.8	2°6ʹ.1	2°32ʹ.6	2°48ʹ.1
R	0.8223	0.8280	0.8447	0.8687	0.9095	0.9542

φ	105°	120°	135°	150°	165°	180°
ι	2°43ʹ.8	2°25ʹ.1	1°57ʹ.3	1°22ʹ.4	0°42ʹ.4	0°0ʹ.0
R	1.0585	1.1107	1.1580	1.1954	1.2206	1.2281

Снизу от плоскости орбиты, то есть от $\varphi = 180°$ до $\varphi = 360°$, мы получаем соответственно те же величины R.

Простым интерполированием с помощью предыдущих табличек получаем следующую таблицу, показывающую, каким значениям φ и J в плоскости орбиты и на поверхности конуса соответствуют одни и те же величины R в узлах, противоположных узлу извержения.

$\varphi=0°$,	$J=30°$		$\varphi=180°$		
R	J	φ	R	J	φ
0.8223	30°	0°	1.0356	5°	98°.6
0.8470	25	31.4	1.0726	10	109.1
0.8739	20	46.9	1.1106	15	120.0
0.9028	15	57.5	1.1495	20	132.3
0.9325	10	67.7	1.1888	25	147.4
0.9660	5	78.5	1.2281	30	180.0
1.0000	0	88.5			

Под плоскостью орбиты получаем соответствующие величины φ.

Простое графическое построение по предыдущей таблице (рис. 5) показывает нам легкую кривизну перпендикулярных к орбите сечений, из которых каждое дает для всех своих точек одну и ту же величину R.

Достаточно взгляда на величины R в табл. 1 [на стр. 96], чтобы видеть, на сколь большое протяжение в этих областях производящей орбиты распределены метеорные орбиты, следуя ходу их времен обращения T.

Орбиты, выходящие из точек производящей орбиты, соседних с точкой, где $r = 1$, имея свои аномалии, меньшие или большие, пересекают снова плоскость этой орбиты на прямых, подобных предыдущей, с соответственными аномалиями $180° - v$.

Совокупность всех этих производных орбит может создать в известных пределах наложение орбит с различными T, но во всяком случае метеоры будут очень редки в этих областях, их годичная периодичность будет часто прерываться и форма площади радиации будет неправильна.

С другой стороны, Земля может встречать эти метеоры вблизи от плоскости производящей орбиты, но на весьма значительных расстояниях от самой линии орбиты, как это показывают величины R в табл. 1.

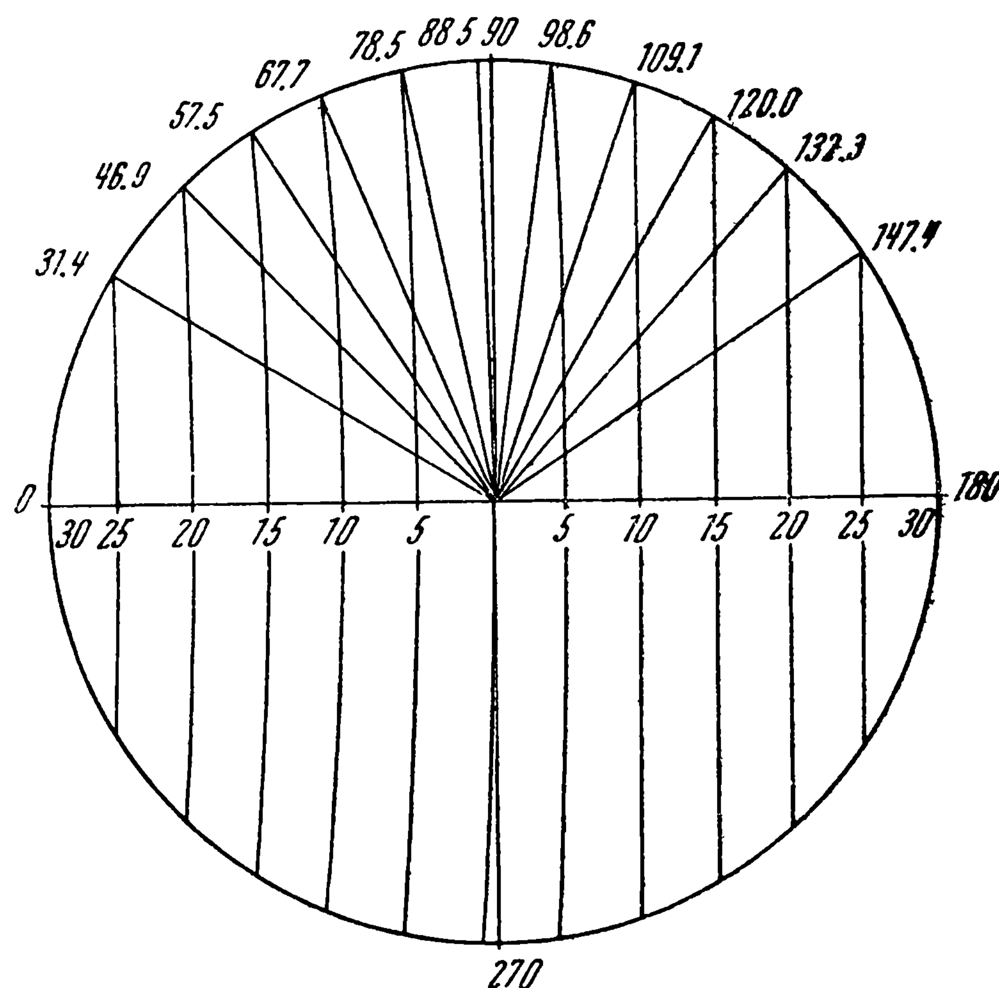


Рис. 5

Чтобы составить себе представление о радиантах подобных метеоров, нужно выполнить специальные вычисления для каждого частного случая. Совершенно общие соображения могут быть выведены из графического построения кривой производящей и ее производных эллипсисов, которые представлены на рис. 3.

5

Трудно допустить, чтобы тельца, различные по объему и по весу, получали одну и ту же начальную скорость, один и тот же толчок j; скорее можно принять, что частицам более тяжелым, соответствуют более слабые величины j. В этом случае для одного и того же угла J такие частицы будут иметь другое время обращения. Эта разность времен T становится ясной, когда мы сравниваем табл. I с табл. III, где $j = 0.02$.

Следовательно, и в роях с очень выдающимися максимумами болиды и метеориты, вышедшие под углом $J = 0$, должны встречать Землю не в эпоху сильнейшего потока мелких частиц, но в другие годы, принадлежа, впрочем, к одной и той же или почти к одной и той же площади радиации.

Непрерывные и тщательные наблюдения позволят определить соответственные разности j. Конечно, частицы с более слабым толчком j могут быть выброшены под такими углами J, которые заставят их войти в поток максимума.

Метеориты можно рассматривать как маленькие самостоятельные кометки, но это не исключает возможности происхождения их и от взрывов на какой-либо значительной комете.

Мы не имеем намерения входить здесь в исследования всех фактов, собранных до настоящего времени по отношению к радиантам болидов (fireballs): мы отметим только несколько недавних случаев.

В Бристоле в ночь 13 ноября 1888 г. Деннинг наблюдал 17 метеоров, которые по их направлениям и виду принадлежали к потоку Леонид[1].

Их радиант находился в обычном положении: 149°, +22°, и три из этих метеоров были необычайно большими. Болид, появившийся в 16^h55^m, был великолепен; другой, наблюдавшийся в 17^h19^m, был также значителен, но его блеск был сильно уменьшен из-за близкого положения к горизонту.

В то же самое время Бэкхауз в Сендерленде видел в 17^h19^m большую вспышку, а несколько секунд позже он увидел луч — очень интенсивную метеорную полосу длиной 4°, которая длилась девять минут.

Сравнивая эти два наблюдения, сделанные в 17^h19^m, Деннинг нашел, что они относятся к одному и тому же объекту, и вывел из них радиант болида: 149°, + 25°. Радиант Леонид как результат многочисленных наблюдений есть 150°, + 22°. Соответственные наблюдения, сделанные в Бристоле и в Сендерленде, позволяют определить высоты болида на его пути через атмосферу:

Начало метеора (в Бристоле)	65 англ. миль
Начало светлого луча в Сендерленде	57 » »
Конец луча	45 » »
Конец метеора (в Бристоле)	37 » »

[1] Denning. Monthly Notices of the R. A. S., 1889, p. 66.

Последняя высота говорит в пользу значительной массы метеора, который смог сохраниться, проникнув в довольно низкие слои нашей атмосферы.

Кёль собрал описания 265 болидов (fireballs), наблюдавшихся в Дании и в соседних странах с 1875 по 1888 г., и дал таблицу[1] распределения их появления по месяцам, что могло бы, наряду с прочими заключениями, заставить принять мнение о периодичности появлений болидов. Он находит трудным провести различие между болидами и падающими звездами: «Болиды весьма различны по их виду и невозможно произвести без затруднений линию раздела между ними и падающими звездами. Обычная падающая звезда может вырасти в настоящий болид».

Для появлений в ноябре мы находим в указанной таблице следующие даты:

	Ноябрь
1875	9, 16
1876	10, 11, 12, 12, 12
1878	15, 21
1880	2, 2, 6, 10, 26
1882	12, 26
1885	24, 27, 30
1886	1, 8, 25, 27
1887	14, 17
1888	8, 10

В конце своей таблицы Кёль добавляет следующие замечания: «Таблица показывает, что максимумы болидов бывают в следующие даты: января 2, февраля 1, марта 2—3, апреля 26—27 (?), мая 1 и 10—11 (?), июля 18 и 30, августа 1, 10, 24, сентября 28, октября 30, ноября 10—12 и 26—27 (?), декабря 10—13» [51].

Две ноябрьские эпохи, кажется, указывают на даты Леонид и Андромедид, которые приходятся на 13 и 27 ноября.

---

[1] The Journal of the L. A. S., vol. VII, pp. 159—162.

Радианты этих болидов не определены, но сами даты их появлений внушают мысль, что они принадлежат к замечательным периодическим потокам, упомянутым выше.

6

Пучок орбит метеоров вблизи точки их начала имеет форму конуса, очень сходного с конической *воронкой* или, скорее, с двумя воронками, сложенными их вершинами.

Через эту воронку проходят, совершив свой оборот, частицы, которые принадлежат одному и тому же сечению, перпендикулярному к плоскости орбиты, и которые возникли в один и тот же момент.

Близ оси этой воронки находятся оси подобных воронок, соответствующих моментам $t \mp dt$, и т. д. Чтобы понять результаты этого наложения, нужно снова обратиться к примечанию в нашем § 1.

Конус извержения является более или менее раскрытым соответственно предельному значению угла J центральной части центральной и плотной струи и бо́льших предельных величин углов J, под которыми другие частицы, чуждые центральному выбросу, выходят с поверхности ядра.

Р. С. Болл наблюдал в 1866 г. поток Леонид и говорит, что падающие звезды были неисчислимы и что траектория каждого метеора происходила из созвездия Льва, и не только из этого созвездия, но из *одной* определенной точки.

Это показывает, что центральная струя в этом потоке являлась очень мало раскрытым конусом и что, следовательно, начальные направления метеорных орбит в нем почти параллельны. По этой причине происходит также концентрация явления в одном году, ибо мы уже видели выше, что свойства производящей орбиты Леонид таковы, что углы J в несколько градусов могли расширить максимум на несколько последовательных лет. Число лет, измеряющее длительность явления, может служить для нахождения пределов J, принадлежащих к центральному выбросу.

У Персеид, у которых свойства производящей орбиты аналогичны предыдущим, максимум длится несколько лет, и отсюда нужно заключить, что центральная струя является конусом значительно более открытым.

У Андромедид, напротив, разница в несколько градусов для J дает различие менее одного года в соответственных временах обращения.

Размеры площади радиации зависят прежде всего от частиц внешней части конуса извержения, вышедших более или менее косо по отношению к центральной струе,— частиц, число которых сравнительно менее значительно и которые замечаются на периферии площади радиации.

Это мнение может быть иллюстрировано, если даже не доказано, моими наблюдениями Персеид в 1874 г. (см. «Annales» нашей обсерватории) 10 августа.

За промежуток времени в 3 часа я нанес на карту 56 метеоров и нашел их радиант: $\alpha = 46^\circ\!.0$, $\delta = 48^\circ\!.1$.

Вокруг этого радианта, взятого за центр, я описал пять кругов, радиусы которых суть расстояния между звездами Персея $\iota - \tau$, $\iota - \eta$, $\iota - \nu$, $\iota - \upsilon$, $\iota - \xi$[52]. Направления метеоров, продолженные назад, распределяются следующим образом:

Через первый круг проходит	28	метеоров
Через кольцо между 1-м и 2-м кругом	13	»
Следующее кольцо содержит	10	»
Третье кольцо имеет только	4	»
В последнем кольце мы находим	1	»

Более многочисленные наблюдения могли бы дать лучшие указания об этом свойстве площадей радиации метеорных потоков. Приведенная выше прогрессия должна быть гораздо более быстрой для площади радиации Леонид.

Согласно теории параллельных направлений метеоров рассеяние радиантов объясняется вообще притяжением Землей метеоров в ее соседстве.

Скиапарелли подверг изучению это действие Земли прежде всего в частном случае Леонид и высказывает следующие соображения [1]:

«Когда я... исследовал влияние притяжения Земли на ноябрьские метеоры, я нашел, что угол наибольшего отклонения относительного движения для метеоров, проходящих совсем близко от Земли, есть 1°28′. Если, кроме того, принять время обращения этих метеоров в 33.25 года, то орбита, вытекающая из возмущений, может быть сокращена до 28.67 лет обращения или удлинена до 49.92 лет обращения. Влияние прохождения метеоров близ Земли может, как видно, нам представляться в виде весьма значительного изменения времени обращения.

«Если допустить, что один из этих метеоров при близком прохождении около Земли и при своем дальнейшем движении испытал наибольшее отклонение в 1°28′, то, когда он после одного или нескольких оборотов упадет на Землю, его точка радиации будет, как легко можно понять, удалена от точки радиации других метеоров на 1°28′, при условии, что ее положение исправлено за зенитное притяжение и суточную аберрацию.

«Если далее принять, что вследствие совершенно особой случайности метеор при своем втором приближении к Земле почти касается ее поверхности и затем уходит дальше и что он после этого по истечении одного или нескольких оборотов падает на Землю, то его точка радиации будет наблюдаться в третьем положении, которое удалено на 1°28′ от второго и менее чем на 2°56′ от точки радиации других метеоров» [53].

Однако влияние Земли на изменение центра радиации вообще незначительно, и в явлениях максимума им можно совершенно пренебречь, так как, получив другое время обращения, частица тотчас перестает принадлежать эпохам максимума и, следовательно, участвовать в размерах их площадей радиации.

---

[1] Schiaparelli. Entwurf einer Astronomischen Theorie der Sternschnuppen, pp. 146—155.

Что касается радиантов метеоров, наблюдавшихся в годы между максимумами,— их радианты должны быть рассеянными, потому что они принадлежат к различным углам J, под которыми они вышли.

1890, февраль.

(B. M. 1889, № 4; A. M., série 2, vol. II)

ПЕРСЕИДЫ, НАБЛЮДАВШИЕСЯ В РОССИИ в 1890 г.

В прошлом, т. е. в 1890, году я предложил некоторым нашим астрономам тщательно пронаблюдать знаменитый поток Персеид, и они согласились принять участие в этих наблюдениях: в Пулкове — гг. Бачинский, Белопольский, Виттрам, Иверонов, Козловский, Линдеман, Морин, Ренц и Шретер; в Острогожске — г. Ржевский, в Кинешме (Погост) — г. Костинский, в Москве — г. Покровский и в Либаве — г. проф. Цераский.

Погода была дурной 12 и 13 августа и мало благоприятной от 1 до 9 августа.

Наблюдатели пользовались звездной картой, опубликованной г. Цераским в «Annales de l'Observatoire de Moscou» для эпохи 1855.0. По координатам метеоров, нанесенных на эту карту, траектории были перенесены на известную карту Лоренцони, и их продолжения на этой карте послужили мне для отыскания радиантов. Эта работа была выполнена гг. Белопольским и Мориным, которые нарисовали отдельные карты для каждого пункта и каждой ночи. Метеоры, наблюдавшиеся в Пулкове 10 августа, из-за их большого числа были нанесены на две карты.

В приводимых наблюдениях[1], в двух первых столбцах,

[1] См. Bulletin de l'Académie des Sciences de St.-Pétersbourg.— *Ред.*

мы находим текущие номера метеоров и среднее пулковское время; в двух следующих столбцах — координаты α и δ появления метеоров; наконец, два последних столбца содержат координаты их исчезновения. В Пулкове большое число метеоров наблюдалось несколькими наблюдателями; в таком случае координаты являются арифметическими средними из всех положений для каждого метеора; после шестого столбца указано соответствующее число наблюдателей. В конце сделаны некоторые разрозненные замечания о виде метеоров.

Примечание. Номера, вычеркнутые наблюдателями, опущены и более не фигурируют ни в таблице, ни в радиантах. Что касается координат наблюденных метеоров, то они все напечатаны в «Известиях» Академии, но здесь я воспроизвожу все *частные* радианты, ибо из них можно по-разному выводить положение *центра* радиации.

1

После нанесения карт на сетку Лоренцони мы перешли к образованию радиантов, что является довольно трудной работой, требующей многих предосторожностей. Мы начали с отыскания точек, лежащих возможно ближе к видимому центру площади радиации, где представляется очевидное схождение многих метеоров, продолженных назад. От этих радиантов, мало-помалу удаляясь от центра, перешли к соседним точкам схождения. В то же самое время мы рассмотрели метеоры, проходящие далеко от центра, на краях площади радиации. Таким способом переходили в несколько приемов от центра к окружности и от последней к центру, пока не объединили все метеоры — без какого бы то ни было повторения тех же самых метеоров в различных радиантах — вокруг отдельных точек радиации.

Легко видеть, что положение радианта, образованного только по двум метеорам, всегда будет сомнительно, ибо один метеор может входить в различные комбинации с другими метеорами. Верно, однако, что при значительном числе метеоров, нанесенных на карту, ошибки положений слабых радиантов,

находящихся внутри площади радиации, должны, так сказать, приобрести взаимную компенсацию; центр тяжести конфигурации радиантов останется неизменным. В случае схождения трех метеоров ошибка уже более ограничена и т. д. По этой причине число метеоров, образующих радиант, может считаться пропорциональным весу положения последнего.

Метеоры, слишком удаленные от центра радиации, не приняты во внимание, как и те, которые имели направление к центру радиации и, очевидно, происходили из других областей неба.

Я даю здесь таблицу всех радиантов, образованных для каждой станции и каждой ночи, указывая номера метеоров, образующих данный радиант.

Для Пулкова, кроме радиантов, выведенных из всех наблюдений, я образовал отдельно радианты с помощью средних положений метеоров, нанесенных несколькими наблюдателями. Таблица этих радиантов имеет обозначение: Пулково, 10 августа (средние).

Острогожск, августа 6

	Радианты α	Радианты δ	№ метеоров
1	41°0	41°5	(6, 8)
2	43.0	52.5	(1, 2, 7)

Августа 7

	α	δ	№ метеоров
1	36°0	50°5	(3, 4, 8)
2	46.0	59.0	(5, 6)

Августа 8

	α	δ	№ метеоров
1	25°0	62°3	(9, 2)
2	26.0	48.0	(10, 14, 13)
3	26.5	40.8	(6, 8)
4	37.5	55.2	(5, 7)
5	45.0	50.0	(18, 12, 4, 17)
6	47.0	47.0	(15, 3)

Либава, августа 8

	Радианты α	δ	№ метеоров
1	40°0	54°0	(4, 6)
2	46.0	58.5	(2, 3)

Августа 9

1	35°0	42°0	(1, 13)
2	48.0	52.0	(5, 7)
3	48.2	53.0	(2, 6)
4	50.0	51.5	(3, 8)
5	63.5	59.3	(9, 14)
6	63.9	64.5	(4, 11, 12)

Пулково, августа 9

1	38°0	57°6	(5, 11, 15)
2	38.8	54.0	(16, 21)
3	40.5	62.8	(4, 18, 24)
4	43.0	55.5	(31, 14, 13, 27, 26, 25, 12)
5	47.0	52.0	(17, 28)
6	50.0	53.0	(7, 10, 30)
7	52.5	58.0	(6, 8, 22)

Августа 10 (1-я карта)

1	30°0	66°6	(1, 37)
2	30.3	58.6	(71, 78)
3	30.6	72.0	(8, 28)
4	31.7	63.0	(26, 58)
5	32.8	58.0	(29, 57)
6	36.4	59.0	(3, 63, 85, 90)
7	37.1	61.5	(54, 59)
8	38.0	53.4	(4, 27)
9	39.0	58.0	(22, 47, 64, 89)
10	41.0	45.0	(53, 60)
11	41.0	56.6	(17, 24, 34, 65, 86)
12	41.0	52.5	(9, 66)
13	43.0	58.5	(36, 41, 61)
14	43.5	43.0	(12, 87)
15	44.0	52.5	(6, 46)
16	44.0	41.0	(11, 31)

	Радианты α	δ	№ метеоров
17	45°5	58°5	(21, 42, 48, 51, 70, 84)
18	45.8	56.5	(16, 35, 52, 68, 81)
19	47.0	68.3	(25, 39)
20	48.4	53.5	(33, 38, 44, 56, 69)
21	49.5	59.0	(15, 49)
22	50.8	58.5	(7, 10, 19, 73)
23	51.2	51.0	(23, 40, 43, 72)
24	53.7	55.5	(13, 50, 55, 74)
25	54.0	63.0	(32, 45)
26	54.5	48.0	(76, 79)
27	61.8	58.0	(5, 14, 67)

Августа 10 (2-я карта)

1	31°0	56°5	(115, 142)
2	33.3	55.0	(102, 105, 128)
3	36.8	63.0	(104, 147)
4	38.7	54.0	(107, 112, 117, 154, 155, 158)
5	39.6	50.2	(91, 99, 110, 126, 143)
6	40.0	53.0	(106, 121)
7	41.0	57.2	(100, 111)
8	43.3	56.5	(124, 129, 132, 150, 156, 157)
9	44.3	62.0	(103, 137)
10	44.7	54.8	(92, 97, 98, 114, 135, 145, 161, 162)
11	44.7	48.5	(116, 122, 152, 153)
12	46.0	48.0	(93, 138, 146)
13	47.8	57.0	(109, 125, 140, 144, 160)
14	50.2	55.5	(94, 95, 96, 118, 127, 134, 149)
15	51.5	38.0	(113, 120, 141)
16	53.0	48.8	(131, 136, 139, 159)
17	59.2	56.0	(119, 123, 151)

Погост, августа 10

1	27°0	61°0	(1, 6)
2	27.7	51.0	(3, 19)
3	41.6	59.0	(18, 25, 31, 47)
4	44.8	53.0	(4, 5)
5	45.0	49.0	(16, 23, 44)
6	46.4	55.0	(7, 22, 30, 37, 42, 46)
7	46.4	57.5	(13, 20)
8	48.0	57.0	(8, 36, 38)
9	48.2	48.0	(12, 34)

Августа 10 (2-я карта)

	Радианты α	δ	№ метеоров
10	50°5	62°5	(15, 43)
11	51.8	50.3	(14, 17, 39, 48)
12	53.5	58.5	(9, 24, 26, 40)
13	56.0	49.5	(28, 32)
14	57.8	42.0	(111, 45)
15	63.0	57.2	(10, 35)

Августа 11

1	27°2	56°5	(37, 40)
2	28.3	60.0	(10, 14, 34, 47)
3	39.0	53.5	(2, 42, 59)
4	42.0	60.2	(18, 26, 35)
5	45.7	50.5	(9, 11, 12, 22, 57)
6	46.6	38.0	(17, 32)
7	47.0	55.0	(1, 8, 21, 24)
8	47.7	58.0	(7, 13, 16, 36, 48)
9	49.0	48.5	(6, 33, 45, 53, 56)
10	51.8	54.0	(39, 60)
11	54.8	60.4	(4, 15, 20, 27, 29, 31, 43, 44)
12	57.0	49.5	(28, 50)
13	60.0	48.5	(19, 38)
14	60.7	57.4	(3, 54, 58)

Москва, августа 10

1	25°0	63°4	(47, 51, 61, 62, 79)
2	30.8	62.0	(27, 39)
3	31.2	63.0	(55, 76)
4	35.3	52.5	(23, 24, 71)
5	38.4	56.2	(13, 42, 58, 69)
6	40.2	57.8	(5, 17, 59, 68)
7	43.0	53.0	(10, 22, 29, 45, 56, 60, 70)
8	43.4	60.0	(16, 19, 31, 37, 41, 78)
9	45.0	56.5	(14, 35, 66, 67, 72, 75, 81)
10	45.8	58.8	(25, 57)

	Радианты α	δ	№ метеоров
11	47°0	38°0	(7, 74)
12	49.2	53.5	(1, 20, 21, 28, 36, 46, 48, 54)
13	53.0	61.5	(8, 80)
14	53.5	40.0	(4, 32, 63)
15	56.2	73.0	(6, 11)
16	57.0	50.2	(3, 26, 40, 53)

Августа 11

1	30°6	50°0	(2, 41)
2	35.2	42.0	(35, 66)
3	36.5	59.0	(1, 9, 11, 20, 34, 56, 64, 75)
4	38.0	52.0	(4, 59, 62, 68)
5	40.0	56.5	(12, 48, 53, 55, 57, 70, 73, 78)
6	41.0	65.4	(19, 21, 24)
7	45.7	56.4	(5, 6, 15, 31, 40, 43, 72, 81)
8	48.6	52.6	(25, 29, 32)
9	48.8	42.0	(30, 38)
10	49.5	56.5	(36, 42, 47, 52)
11	50.8	55.5	(8, 23, 58, 71)
12	50.8	42.4	(7, 49, 51)
13	54.7	52.5	(13, 18, 22, 27, 39, 45)
14	54.9	41.4	(67, 76)
15	58.0	49.5	(10, 17, 28, 54, 65, 69, 80)

Радианты для 8, 9, 10, 11 августа нанесены на прилагаемую карту (рис. 6) в прямоугольной системе координат, охватывающую область неба между 25° и 65° по прямому восхождению и между + 35° и + 75° по склонению. Размеры точек, представляющих радианты, пропорциональны их весам.

Средние положения для Пулкова 10 августа, взятые отдельно, дали мне следующие радианты, которые должны обладать большим относительным весом.

	Радианты α	Радианты δ	№ метеоров
1	26°0	54°0	(88, 153)
2	30.4	55.0	(27, 48)
3	31.7	62.4	(18, 28, 54)
4	32.4	60.0	(20, 36, 82)
5	37.4	56.0	(29, 68, 161)
6	38.2	54.5	(24, 128, 158)
	Пулково, августа 10 (средние)		
7	40.3	57.0	(21, 35, 42, 76, 78, 100)
8	42.0	57.5	(111, 114)
9	42.0	54.5	(55, 56, 107, 143)
10	47.7	46.0	(12, 91, 138)
11	48.2	60.0	(13, 47, 103, 155)
12	49.7	58.0	(23, 32, 45, 67, 74, 94, 132, 136, 156, 173)
13	49.7	48.0	(60, 79, 159)
14	50.5	54.0	(15, 16, 33, 69, 116)
15	58.0	45.8	(11, 87, 113, 150)
16	58.7	60.5	(59, 73)

Чтобы дополнить ряд наблюдений между 1 и 15 августа, я воспользовался наблюдениями падающих звезд, сделанными в Италии в 1871 и 1872 гг. и находящимися в изданиях обсерватории Брера (Osservazioni di stelle cadenti fatte nelle stazioni italiane, 1874, 1885, 1871, pp. 85—87; 1872, pp. 37—43, 70—71).

Станции, наиболее богатые наблюдениями, дали мне следующие радианты:

1872

		Радианты α	Радианты δ	Вес			Радианты α	Радианты δ	Вес
1 августа	1	27°5	57°0	2	4 августа	1	28°0	37°0	3
2 августа	1	45.0	48.5	2		2	35.0	63.5	3
	2	52.5	59.6	2		3	35.0	67.0	4
	3	57.0	50.0	2		4	37.0	56.0	3
	4	59.5	59.0	2		5	39.0	43.8	2
3 августа	1	25.0	52.0	2		6	39.5	55.0	2
	2	53.0	62.0	3		7	45.0	57.0	3
	3	65.0	52.0	2		8	50.0	62.0	3

		Радианты α	Радианты δ	Вес
	9	53°0	59°0	4
5 августа	1	26.0	57.0	3
	2	26.4	61.0	2
	3	26.5	41.0	4
	4	34.0	38.0	4
	5	34.0	55.0	4
	6	37.0	49.0	3
	7	40.5	54.0	6
5 августа	8	43.0	36.5	5
	9	47.5	38.0	3
	10	48.0	52.0	3
	11	55.0	62.0	5
	12	60.0	49.0	3
	13	60.0	62.5	3
6 августа	1	29.0	55.5	2
	2	41.0	41.0	4
6 августа	3	45°5	60°5	3
	4	57.0	52.0	2
7 августа	1	37.6	46.8	2
	2	42.5	51.3	3
	3	43.0	55.6	2
	4	44.0	46.0	2
13 августа	1	35.0	59.0	3
	2	37.0	54.0	2
	3	53.0	47.5	2
	4	55.0	60.0	3
	5	60.0	58.0	2
15 августа	1	32.5	56.0	3
	2	35.8	46.0	4
	3	39.5	44.9	2
	4	49.5	56.0	3
	5	56.0	57.0	2

Метеоры, наблюдавшиеся Сойером (Astr. Journ., № 224) 3 и 5 августа 1890 г., дают также для 4 августа радиант 42°0, 54°0, с весом 2.

Так как первый радиант предшествующей таблицы, а именно от 1 августа, является одиночным и слабым, я им пренебрег.

Положение радиантов для 2, 3, 4, 5, 6, 7 августа указаны на нашей карте (рис. 6) крестиками; радианты для 13 и 15 августа — кружками.

Бросив взгляд на карту радиантов, мы прежде всего спрашиваем себя, каковы ошибки наблюденных направлений метеоров и какое влияние они могут иметь на протяжение площади радиации. Пулковские наблюдения дают нам для этой цели довольно полезный материал. 10 августа 37 метеоров наблюдались по меньшей мере тремя наблюдателями, как это можно видеть в нашей таблице координат метеоров.

Были взяты средние арифметические для каждого метеора, и разности между этими средними и положениями, указанными каждым наблюдателем, позволили нам вывести вероятную ошибку одного наблюдения.

Было найдено таким путем, что эта ошибка равна $\pm$ 2°. Один раз действительная ошибка достигла 13°; изредка она достигала 5°. Предположим, что конец пути метеора находится на расстоянии s = 40° от центра радиации (α = 25°, δ = 57°) и что его положение ошибочно на 13°. Легко вычислить, что расстояние d от его продолжения до центра имеет ошибку в 8°; ошибка в 2° в направлении, на том же расстоянии s, дает d = = 1°2. Для s = 15° ошибка в 13° в направлении дает d = 3°5, а с ошибкой в 2° получаем d = 0°5 [54].

Итак, видно, что площадь радиации, уже сведенная в нашем случае к диаметру в 20°, никак не может быть еще сведена к диаметру, например, в 15°; и только несколько отдельных метеоров кажутся слишком удаленными от центров радиации из-за ошибок, которым подвержены наблюдения. Стало быть, в потоке Персеид действительно существует довольно протяженная площадь радиации. Я попытаюсь теперь показать, как можно объяснить, согласно теории, существование подобной площади.

2

Прежде всего нам нужно иметь необходимые числовые данные для наших вычислений.

Элементы кометы 1862 III, приведенные к эпохе 1890.6, таковы:

T = 1862, августа 22.91218 ср. гринич. вр.
π = 345°5ʹ4
☊ = 137 50.9
i = 66 25.6
$\lg q$ = 9.983465
e = 0.961271
Движение обратное

Прохождение Земли через плоскость кометной орбиты произошло в 1890 г. 10 августа в $2^h.38$ ср. гринич. вр.; для этого момента аномалия радиуса-вектора кометной орбиты, проходящего через Землю, равна 27°14ʹ5; этой аномалии соответствует

$\lg r = 0.00774$; долгота Солнца $\lambda = 137°51'.0$, а для радиуса-вектора Земли имеем $\lg R = 0.00575$. В момент прохождения Земля находилась внутри орбиты, так как $r > R$, $r - R = 0.0046$. Угол направления движения Земли с ее радиусом-вектором равен $89°26'$, следовательно, долгота апекса будет $48°25'$.

Положения наших радиантов относятся к равноденствию 1855.0, и поправки, которые следует внести в положения точек вблизи средины площади радиации, чтобы привести их к эпохе 1890.6, таковы: $\Delta\alpha = +0°.7$ и $\Delta\delta = +0°.1$. Влиянием зенитного притяжения можно совершенно пренебречь ввиду положения площади радиации на небе и ее высоты над горизонтом.

Теперь нужно найти центр радиации, например для 10 августа. Возьмем среднее арифметическое из положений наиболее сильных радиантов, образованных из пулковских средних, другими словами, радиантов 7, 12 и 14, каждый из которых содержит по меньшей мере 5 метеоров. Учитывая веса этих радиантов, мы получаем для положения центра площади радиации: $\alpha = 47°.2$, $\delta = +56°.8$.

Воспользуемся теперь другим способом: возьмем наиболее сильные радианты, содержащие по меньшей мере 5 метеоров, для 9, 10 и 11 августа для всех пунктов. Среднее арифметическое для этих 27 радиантов, если принять во внимание их веса, равно: $\alpha = 45°.8$, $\delta = 55°.3$.

Это — очень удовлетворительное согласие, и мы можем удовлетвориться для 10 августа положением, взятым из наблюдений в Пулкове. Долгота и широта центра, приведенные к 1890.6, таковы: $l = 62°.5$, $b = 37°.7$. Чтобы вывести положение плоскости центра радиации, мы должны приписать метеорам, за отсутствием других данных, параболическую скорость, и по известным формулам с помощью предыдущих чисел получим наклонение плоскости орбиты к плоскости эклиптики $i = 65°.8$, что отличается только на $0°.6$ от наклонения кометной орбиты; само собой разумеется, что долгота восходящего узла будет $137°.8$. Мы не будем говорить об элементах метеорных орбит,

так как по нашей теории каждый метеор имеет собственную орбиту, зависящую от величины j, J и v (см. мою записку «Sur l'Origine des étoiles filantes, Bulletin de la Société des Naturalistes de Moscou», 1889, № 1 [1]).

Примем теперь диаметр площади радиации равным 10° и вычислим положения плоскостей радиантов, находящихся у северного и южного края этой площади, для которых $l = 63°$, $b = 33°$ и 43°; для первой плоскости получаем $i = 58°$, а для второй $i = 75°$. Эти плоскости расположены по обе стороны кометной орбиты и наклонены на 8°.5 к плоскости этой орбиты. Следовательно, метеоры этих радиантов движутся по орбитам, довольно наклонным к плоскости орбиты кометы.

Интересно узнать, в каких плоскостях находятся центры радиации до и после эпохи максимума. Данные для каждой отдельной даты недостаточны; мы должны поэтому объединить несколько дней для получения одного среднего. Итак, все радианты для 2, 3, 4, 5, 6 и 7 августа, общим числом 42, дают нам для 5.0 августа как среднее арифметическое: $\alpha = 44°.6$, $\delta = +52°.6$. Радианты для 13 и 15 августа, числом 10, дают нам аналогичным образом для 14.5 августа $\alpha = 45°.4$, $\delta = 53°.9$. Можно здесь отметить мимоходом, что площадь радиации не смещается в значительной мере за 10 дней. Не надо упускать из виду, что второй радиант слабее первого.

Итак, мы имеем:

Августа	5.0	$\lambda = 133°.0$	$l = 59°.0$	$b = 34°.0$
	14.5	$= 142.1$	$= 60.1$	$= 35.1$

Отсюда

Августа	5.0	☊ $= 133.0$	$i = 59.3$
	14.5	$= 142.1$	$= 59.8$

Вторые данные не столь надежны, но общий результат очень интересен. К началу и к концу явления плоскости главных

[1] «Происхождение космических метеоров», стр. 9 настоящего издания.— *Ред.*

радиаций (центральных) имеют наклонения и узлы, отличные от этих величин для производящей кометы; эти различия таковы:

		Комета—метеор	
Августа	5.0	$\Delta\Omega = +4^\circ.9$	$i = +7^\circ.1$
	14.5	$= -4.2$	$= +6.6$

Наиболее густая часть потока имела место с 9.5 до 11.5 августа; следовательно, в ней изменение линии узлов равно $1^\circ.9$. Дальше мы скажем несколько слов по этому поводу.

Перейдем теперь к объяснению расхождения метеоров (площадь радиации) за счет различия углов истечения J и начальных скоростей j (см. мою указанную записку о происхождении падающих звезд).

Каждый угол J и каждая величина j порождают иную орбиту, и расхождение этих орбит во время их встречи с Землей представляет собой расхождение метеоров.

Однако полная величина этого расхождения D в плоскости кометной орбиты (для одного и того же толчка j) определяется углом между касательными к крайним орбитам метеоров (положительные и отрицательные пределы углов J), иными словами, разностью углов β радиуса-вектора с касательными; в плоскости, перпендикулярной к орбите, расхождение D равно $2x$, причем угол x задан формулой

$$\sin x = j \sin J : H_1,$$

где H_1 — орбитальная скорость метеора.

Наши вычисления должны быть сделаны для известной аномалии $v = +27^\circ 14'.5$. Крайние пределы для J примем $\pm 45^\circ$, для величин j возьмем последовательно: 0.27, 0.14, 0.05, 0.025.

Отрицательный угол J будет иметь пределы, вне которых орбиты становятся гиперболическими; эти пределы получатся в соответствии с предыдущими величинами j: $-7^\circ.8$, $-10^\circ.4$, $-12^\circ.4$, $-12^\circ.9$.

Величины β (углы с радиусом-вектором для аномалии $+27°14'.5$) будут:

J	$+45°$	$-7°.8$	$+45°$	$-10°.4$	$+45°$	$-12°.4$	$+45°$	$-12°.9$
β	$83°.6$	$87°.8$	$79°.8$	$82°.2$	$77°.7$	$78°.7$	$77°.3$	$77°.5$

Отсюда

D	$4°.2$	$2°.4$	$1°.0$	$0°.2$

С уменьшением величины j пучок становится более узким; он находится вне предыдущего пучка и все более приближается к линии кометной орбиты; все пучки, взятые вместе, образуют веер, развернутый в плоскости орбиты.

Расхождение крайних орбит, иначе говоря, отверстие веера, очевидно будет $87°.8-77°.3=10°.5$. Когда Земля проходит в точности через точку кометной орбиты, мы должны видеть метеоры, расходящиеся таким образом.

Когда Земля проходит на некотором расстоянии от линии орбиты кометы, например внутри этой линии, как в нашем действительном случае, сущность построения остается той же самой; однако метеоры с различными j придут к Земле уже не из аномалии $v = 27°14'.5$, но от различных точек кометной орбиты. Объясним это подробно для некоторого заданного j, например для $j = 0.14$.

Земля в момент прохождения находится на радиусе-векторе с аномалией $v = 27°14'.5$ и $r - R = 0.005$. Центральная часть пучка ($J = 0$) выходит из точки A орбиты и при этой аномалии не проходит через Землю. С помощью некоторых попыток (см. мою упомянутую записку) мы находим, что центральная часть ($J = 0$) истечения, произведенного в точке B орбиты, где аномалия $v_1 = +24°.2$ и $\lg r = 0.00303$, будет иметь эллиптическую орбиту, пересекающую радиус-вектор точки A там, где находится Земля в момент прохождения, а расстояние этой точки от Земли будет равно 0.005.

Для $j = 0.27$ точка B будет менее удалена от точки A; напротив, для $j = 0.05$ разность $v - v_1$ и, следовательно, расстояние AB будет больше, чем для $j = 0.14$.

Не составляет труда построить в воображении эти кривые.

Заметим мимоходом, что время обращения метеоров, порожденных в точке A (где $v_1 = +27^\circ\!.2$), при $J = 0$ и $j = 0.27$ будет 19 лет, при $j = 0.14$ будет 27 лет; при $j = 0.025$ орбита будет почти равна орбите кометы, и этот случай соответствует до некоторой степени образованию метеоров под действием только Солнца.

В плоскости, перпендикулярной к орбите, иначе говоря, для $\varphi = 0$ (см. мою записку о происхождении периодических комет), при $J = +45^\circ$ мы получаем с помощью формулы, данной выше:

$$\text{для} \quad j = 0.27 \qquad 2x = 16^\circ\!.3$$
$$\text{для} \quad j = 0.14 \qquad 2x = 8.3$$

В первом случае расхождение метеоров составит —16°, во втором —8°.

Если величина j уменьшается, пучки. становятся все более узкими. Интересно представить себе относительное расположение пучков, о которых мы уже говорили, в связи с уменьшением их расхождения и их размеров.

Вершина пучка B для $j = 0.14$ находится на 0.053 от Земли, которая остается в этом пучке более 10 часов, как это доказывается легким вычислением.

Истечения, произведенные в точках, значительно удаленных от точки A (где $v = 27^\circ\!.2$), могут также, при известных весьма ограниченных условиях, посылать свои метеоры к Земле. Действительно, легко вычислить по нашим формулам, что для аномалии $v = +90^\circ$ частицы с $j = 0.025$ и $J = +45^\circ$ опишут орбиту, у которой $\pi = 347^\circ 7'$, $\lg q = 9.97170$, $e = 0.9353$, и этот эллипсис будет проходить через Землю.

Частицы с углом $J < 45^\circ$ пройдут уже между Землей и Солнцем.

Когда я прежде объяснял длительность потока Персеид, я не принял этого обстоятельства во внимание («О происхождении падающих звезд», § 5 [1]) и приписал, почти без ограничения,

[1] См. стр. 41.—*Ред.*

эту длительность частицам, произведенным в удаленных частях орбиты.

Я пользуюсь случаем заметить здесь, что это объяснение является натянутым по отношению к j и J.

В теории метеорного кольца длительность явления объясняется размерами этого кольца. Но в данном случае эти размеры должны быть громадными. Если Земля остается 14 дней внутри потока, диаметр сечения кольца должен быть равен 25 солнечным диаметрам. Так как явления происходят каждый год, это кольцо, диаметр которого охватывает 50 радиусов земной орбиты, должно быть целиком заполнено метеорами.

Разности узлов и наклонений естественным образом приводят к мысли о возмущениях со стороны планет и Земли. Каждый пучок содержит орбиты с различными временами обращения; возмущающее действие на эти орбиты должно быть, следовательно, также весьма различно, и это возобновляющееся действие, хотя и на различные метеоры, может производить за большие промежутки времени избирательные возмущения: орбиты с коротким периодом будут изменены иначе, чем орбиты удлиненные.

Затем сама комета с течением времени должна была изменить свою орбиту под действием планет; мы знаем, что в 1862 г. расстояние кометы от Земли, в некоторый момент, было только 0.4.

Мы знаем, кроме того, что в 1862 г. излияние — источник метеоров — было еще очень энергичным. Небольшие изменения кометной орбиты в соединении с истечениями возобновляются через промежутки в 120 лет,— вот еще причина для расчленения центральной части площади радиации или, вернее, для образования новых центров радиации. Я довольствуюсь здесь этими общими соображениями, так как предполагаю изучать этот вопрос позже.

Вообще поток Персеид — явление столь сложное и интересное, что оно достойно неоднократных и глубоких исследований.

Приписывают часть явления кометам 1870 I и 1871 IV. Их узлы, 141°.7 и 147°.1, и их наклонения, 58° и 82, действительно не отличаются слишком сильно от узла 137°.8, но их перигелии, 303°.5 и 264°.2, показывают, что Земля проходит через их орбиты в точках, лежащих до перигелиев ядер. Истечения в этом случае дают мало метеорных орбит. Итак, участие этих комет в потоке Персеид или, правильнее сказать, в соседних потоках является, вероятно, очень незначительным.

1891, апрель.

[B. P.— Mélanges Math., t VII· nouv. série. II (XXXIV)]

ПЕРСЕИДЫ, НАБЛЮДАВШИЕСЯ В РОССИИ В 1892 г.

В моей записке о рассеянии точек радиантов метеоров, опубликованной в этих «Известиях»[55], я указал на теоретическую важность наблюдений Персеид не только в их эпоху максимума — 10.5 августа, но и на протяжении всей длительности явления. Малочисленные наблюдения показали мне на уменьшение наклонений орбит метеоров, по мере того как мы удаляемся от эпохи максимума, что находится в согласии с теорией. Чтобы вывести строго это уменьшение, нужно накопить очень большое число наблюдений и заполнить ими все дни августа, так что эти наблюдения могут охватывать целый ряд лет.

Выражаю мою живейшую признательность лицам, которые согласились помочь мне в нынешнем году в моих исследованиях.

Мои собственные наблюдения были сделаны в Погосте Кинешемского уезда; в Пулкове наблюдали гг. Соколов, Белопольский, Линдеман, Иванов, Лебедев и Морин; в Москве — гг. Покровский, Модестов и Блажко.

В конце июля сумерки мешали наблюдениям, особенно в Пулкове. С 6 по 16 августа небо освещалось Луной, фазы которой следовали в таком порядке: новолуние — 24 июля, первая четверть — 31 июля, полнолуние — 8 августа, последняя четверть — 15 августа, новолуние — 22 августа, первая четверть — 30 августа... Несколько ночей было потеряно из-за плохой погоды.

Ввиду этих препятствий, в ночи, окружающие эпоху

максимума, т. е. с 6 по 15 августа, удалось нанести на карты только 59 метеоров, именно: 6 августа — 22 метеора; 8 августа — 6 метеоров, 9 августа — 26 метеоров, 13 августа — 1 метеор и 15 августа — 4 метеора.

По соседству с эпохой максимума, в отсутствие Луны, можно обычно начертить более или менее значительное число метеоров, и по этой причине наблюдения 9 августа нынешнего года могут быть оставлены в стороне; то же самое замечание относится ко всем наблюдениям между 6 и 15 августа. Тем не менее я публикую их в этой записке, ибо их можно будет сочетать с наблюдениями, которые будут сделаны в те же самые даты в будущем.

С 23 по 30 июля в Пулкове и Москве были зарисованы 33 метеора, которые можно объединить на одной карте в центральной проекции; наблюдения в Погосте с 27 по 31 июля дают 20 метеоров, и они образуют вторую карту; всем этим наблюдениям мешали отчасти заря, отчасти дурная погода. Наблюдения с 1 по 4 августа в Пулкове и Москве дают 33 метеора, нанесенные на третью карту. С 18 по 23 августа в Пулкове было отмечено 73 метеора, из которых три повторяются у различных наблюдателей; итак, остается только 70 различных метеоров, которые фигурируют на четвертой карте. Пятая карта объединяет мои наблюдения в Погосте с 18 по 30 августа над 26 метеорами. Шестая карта объединяет наблюдения в Пулкове с 24 по 26 августа — на ней 92 метеора, из которых 87 различных. Наконец, седьмая карта представляет наблюдения в Пулкове и Москве с 27 августа по 1 сентября — на ней 73 метеора, из которых 70 различных.

Вычерчивание всех этих метеоров на сетках в центральной проекции было выполнено мною самим.

Итак, для изучения точек радиантов мы имеем семь карт с нанесенными на них 339 метеорами. Во второй половине августа, для 13 ночей, мы имеем 253 метеора, уже довольно значительное число; для конца июля и начала августа, для 12 ночей,— 86, или почти одну треть.

Почти бесполезно добавлять, что для углубленного и обстоятельного изучения явления было бы важно собрать еще сколько возможно наблюдений для всей длительности явления; тогда было бы возможно установить также начало и конец роя. В будущем нужно постараться заполнить наблюдениями прежде всего время около начала явления, которое в нынешнем году было менее богатым. Имея в виду длительность сумерек в Пулкове и даже в Москве, было бы лучше делать эти наблюдения немного южнее, например в Киеве или Харькове.

Перейдем теперь к изложению наблюдений и заметим сперва, что наблюдатели пользовались картами г. Цераского (Анналы Московской обсерватории), отнесенными к эпохе 1855.0. Поправки координат центра площади радиации для эпохи явления таковы: $\Delta\alpha = +0^\circ\!.7$, и $\Delta\delta = +0^\circ\!.1$.

Почти все метеоры, зарисованные наблюдателями, были отмечены как быстрые. Имеется только несколько случаев, где мы читаем: «менее быстрый», и это встречается только для ярких метеоров; может быть, эти метеоры проникли более вперед в атмосфере.

Возможно, что некоторые метеоры, проходящие через площадь радиации Персеид, в виде исключения принадлежат к другим роям; во всяком случае ошибка в определении центра нашей площади радиации, которая может произойти от этого, не будет превосходить обычных ошибок, сопровождающих нанесение метеоров на карту.

В нашем списке наблюдений каждая карта в гномонической проекции имеет собственную нумерацию; метеоры, повторяющиеся у различных наблюдателей, нумерованы только один раз, и я нанес на карту в гномонической проекции арифметические средние из координат, взятых с карт различных наблюдателей.

Чтобы составить себе представление о том, сколько метеоров может зарисовать в течение часа один наблюдатель, нужно брать только те наблюдения, которые продолжаются по меньшей мере один час; иначе результаты могли бы быть очень ошибочными, потому что появление метеоров не следует равномерно.

Рассмотрев наблюдения, удовлетворяющие этому условию, сперва найдем часовые числа для каждого наблюдателя отдельно; их средние арифметические дадут нам часовые числа для одного наблюдателя вообще. Эти числа таковы:

Для карт I и II	3—8	метеора
Для карты III	4—7	»
Для карты IV	4—4	»
Для карт V и VI	5—7	»
Для карты VII	4—9	»

Итак, в круглых числах, один наблюдатель может нанести за час 4 метеора в начале явления и 5 метеоров к концу августа. Эти числа зависят от освещения неба Луной и сумерками.

Время, которое указано при наблюдениях, является средним местным временем данного пункта, за исключением Погоста, где я давал среднее московское время. Г-н Лебедев сделал несколько наблюдений под Москвой, но он отмечал пулковское время.

К а р т а I. На карту нанесены 33 метеора. Мы видим, что восемь из них — 5, 14, 21, 22, 23, 24, 27, 31 — происходят из областей неба, весьма удаленных, и не образуют радианта; мы назовем их отдельными метеорами. Остальные метеоры образуют следующие радианты:

		α	δ	Вес
1	(8, 16)	347°0	+40°0	2
2	(17, 29)	353.0	69.5	2
3	(11, 19)	358.0	70.0	2
4	(3, 10, 12, 15, 20)	4.5	48.0	5
5	(7, 18, 30)	11.0	26.5	3
6	(1, 25, 33)	13.0	34.5	3
7	(2, 9)	20.0	54.0	2
8	(4, 6, 13, 26)	21.0	48.0	4
9	(28, 32)	45.0	+41.5	2

Весы выражены, конечно, числами метеоров. Метеор 7 введен в радиант 5, а метеор 15 — в радиант 4, ввиду близости их

направлений с направлениями метеоров, образующих эти радианты.

Средина площади радиации, с учетом веса радиантов, имеет координаты:

$$\alpha = 10^\circ\!.6, \qquad \delta = +46^\circ\!.6$$

Среднее арифметическое времен — мы имеем в виду числа метеоров для каждой ночи — выражено в среднем времени Гринича, а долгота Солнца λ для этого момента будет соответственно:

Июля 29.00 $\lambda = 126^\circ 46'$

Карта II. Метеоры 1, 9, 20 являются отдельными; остальные объединены в следующие радианты:

		α	δ	Вес
1	(8, 11, 13)	32°.0	+53°.0	1.5
2	(14, 15)	32.5	44.5	1.0
3	(4, 5, 10, 19)	35.5	42.0	2.0
4	(6, 17)	39.0	48.5	1.0
5	(12, 16, 18)	40.0	36.0	1.5
6	(2, 3, 7)	48.0	+45.0	1.5

Средина площади будет иметь координаты:

$$\alpha = 37^\circ\!.9, \qquad \delta = +44^\circ\!.5$$

для момента

Июля 29.73 $\lambda = 127^\circ 28'$.

Промежуток времени между картами I и II равен только $0^d\!.7$, поэтому можно взять среднее арифметическое координат и моментов для этих двух карт. На карте I нанесено немного больше метеоров, чем на карте II, но в среднем я им приписываю равные веса, так как в первом случае некоторые наблюдатели были менее опытными. Наши средние будут:

$$\alpha = 24^\circ\!.3 \qquad \delta = +45^\circ\!.6$$

Июля 29.37 $\lambda = 127^\circ 7'$

Поправляя α и δ за прецессию (мы будем всегда делать эту поправку), мы получаем долготу и широту:

$$l = 41^\circ\!.3, \qquad b = +32^\circ\!.6$$

Для последующих вычислений мы примем параболическую скорость метеоров, для которой $D = 0.7071$; эти вычисления дают нам:

$$\theta = 83^\circ\!.5, \qquad l' = 46^\circ\!.4, \qquad \varepsilon = 32^\circ\!.9,$$
$$b' = 54.9, \qquad \varepsilon' = 55.4, \qquad s = 84.7$$

Наконец, наклонение i плоскости, в которой находится пучок орбит метеоров для центра радиации, и аномалия этих метеоров в их нисходящем узле будут:

$$i = 55^\circ\!.2, \qquad v = +10^\circ\!.6$$

Орбитальное движение метеоров обратное; следовательно, наклонение является тупым углом, но мы всегда будем принимать i равным 180° минус этот угол.

Карта III. На этой карте метеоры 2, 5, 13, 14, 22 являются отдельными; остальные 28 образуют радианты:

		α	δ	Вес
1	(17, 33)	8°0	+41°0	1
2	(10, 19)	15.0	30.0	1
3	(9, 11, 15, 27, 30)	32.5	60.0	5
4	(3, 16, 21, 23)	34.0	30.0	4
5	(28, 31, 32)	40.0	58.0	3
6	(8, 18, 26)	40.0	39.0	3
7	(7, 24)	43.0	52.0	2
8	(4, 6, 20)	53.0	71.0	1
9	(1, 12)	55.0	65.0	2
10	(25, 29)	70.0	+73.0	1

Радианты 1 и 2, а тем более 8 и 10, очень ненадежны, так как их метеоры образуют острые углы; поэтому я приписал им вес 1.

Центр радиации имеет координаты:

$$\alpha = 38^\circ\!.3, \qquad \delta = 50^\circ\!.4$$

для гриничского времени

$$\text{Августа } 3.28 \qquad \lambda = 131^\circ 48'.$$

Принимая везде веса равными числу метеоров, получаем: $\alpha = 38^\circ\!.6$, $\delta = 51^\circ\!.6$, что не отличается чувствительно от предыдущих величин.

Далее имеем:

$$l = 53^\circ\!.8, \qquad b = +33^\circ\!.3,$$

и затем

$$\theta = 72^\circ\!.5, \quad \varepsilon = 35^\circ\!.2, \quad \varepsilon' = 59^\circ\!.2, \quad l' = 68^\circ\!.6, \quad b' = 55^\circ\!.0, \quad s = 75^\circ\!.0.$$

Отсюда

$$i = 58^\circ\!.0, \qquad v = +30^\circ\!.0$$

К а р т а IV. Отдельные метеоры: 7, 38, 52, 66, 70; остальные 65 дают нам радианты:

		α	δ	Вес
1	(6, 28, 33, 65)	5°0	+63°5	4
2	(1, 2, 4, 23, 56)	8.5	49.0	5
3	(21, 63)	11.0	78.0	2
4	(5, 48, 51, 69)	15.0	35.5	4
5	(19, 30, 39)	22.0	21.5	3
6	(9, 10, 11, 12, 14, 29, 34, 35, 42, 43, 45, 46, 49, 64, 67)	32.0	54.5	15
7	(16, 25, 31, 36, 59, 60)	42.0	45.0	6
8	(8, 15, 47, 54)	44.0	38.0	4
9	(18, 26, 27, 32, 40, 62)	48.0	58.0	6
10	(3, 22, 55, 61)	55.0	41.5	4
11	(13, 20, 24, 41, 50, 53, 57, 68)	62.0	65.5	8
12	(44, 58)	69.5	35.5	2
13	(17, 37)	73.0	—44.0	2

Отсюда для центра имеем координаты:

$$\alpha = 37^\circ\!.0, \qquad \delta = +50^\circ\!.7$$

для

Августа 21.08 $\lambda = 148°54'$.

Далее

$$l = 53^\circ\!.0, \qquad b = +33^\circ\!.9$$

и

$$\theta = 98^\circ\!.7, \qquad \varepsilon = 34.3, \qquad \varepsilon' = 57.8,$$

$$l' = 45^\circ\!.4, \qquad b' = 56.8, \qquad s = 97.3.$$

Отсюда

$$i = 57^\circ\!.6, \qquad v = -14^\circ\!.7.$$

К а р т а V. Отдельные метеоры: 13, 17, 18; радианты, образованные остальными 23 метеорами, следующие:

		α	δ	Вес
1	(5, 9, 23)	40°0	+37°0	3
2	(8, 21, 24)	42.0	55.0	3
3	(12, 14, 16)	42.5	59.0	3
4	(7, 10, 20, 26)	45.0	45.0	4
5	(1, 6, 11)	46.0	52.5	3
6	(15, 19, 22)	47.0	34.5	3
7	(2, 3, 4, 25)	51.0	+46.7	4

В центре радиации

$$\alpha = 44^\circ\!.8, \qquad \delta = +47^\circ\!.1$$

для момента

Августа 24.18 $\lambda = 151°55'$.

Далее

$$l = 57^\circ\!.1, \qquad b = +28^\circ\!.7$$

и

$$\theta = 98^\circ\!.6, \qquad \varepsilon = 29^\circ\!.1, \qquad \varepsilon' = 49.2,$$

$$l' = 52^\circ\!.0, \qquad b' = 48.5, \qquad s = 96.5.$$

Отсюда

$$i = 48^\circ\!.9, \qquad v = -13^\circ\!.0.$$

Карта VI. Отдельные метеоры: 14, 17, 20, 30, 31, 46, 48, 61; остальные 79 объединяются в радианты:

		α	δ	Вес
1	(16, 58)	355°0	+48°0	2
2	(7, 37, 62)	4.0	54.0	3
3	(24, 53, 54)	8.0	56.5	3
4	(2, 40, 65)	13.0	43.0	3
5	(28, 36, 56, 84, 71)	25.0	52.0	5
6	(41, 59)	25.0	59.0	2
7	(18, 22, 39)	25.0	62.0	3
8	(4, 6, 32, 49, 73, 83)	25.0	39.5	6
9	(21, 55, 57, 70, 72, 77)	32.0	63.5	6
10	(52, 87)	32.0	25.0	2
11	(11, 13, 38, 69, 74)	34.0	44.5	5
12	(47, 68, 79)	36.0	34.0	3
13	(27, 66)	45.0	62.0	2
14	(50, 76)	45.0	47.0	2
15	(23, 51, 67, 78, 81)	47.0	58.0	5
16	(10, 25, 29, 63, 75)	50.0	50.0	5
17	(8, 34)	53.0	30.0	2
18	(1, 9, 15, 33, 44, 64)	57.0	49.5	6
19	(3, 26, 35, 42, 60, 82, 86)	57.0	38.0	7
20	(5, 12, 43, 85)	57.5	57.0	4
21	(19, 45, 80)	72.0	+26.5	3

Отсюда для центра радиации:

$$\alpha = 37^\circ\!.4, \qquad \delta = +48^\circ\!.1$$

для момента

Августа 25.42 $\qquad \lambda = 153^\circ 6'$.

Далее

$$l = 52^\circ\!.1, \qquad b = +31^\circ\!.4$$

$$\theta = 107^\circ\!.2, \qquad \varepsilon = 33^\circ\!.1, \qquad \varepsilon' = 55^\circ\!.7,$$

$$l' = 39^\circ\!.4, \qquad b' = 52.1, \qquad s = 104.2.$$

Наконец,

$$i = 54^\circ\!.5, \qquad v = -29^\circ.0.$$

Результаты карт V и VI, разделенных одним днем, могут быть объединены. Учитывая веса (23) и (79), получаем:

Августа 25.17 $\quad i = 53^\circ\!.3, \qquad v = -25^\circ\!.8.$

Карта VII. Метеоры 4, 9, 33, 35, 48, 68 являются отдельными; остальные 64 образуют следующие радианты:

		α	δ	Вес
1	(14, 21, 43, 47, 49, 57, 66)	13°0	+47°5	7
2	(1, 23, 42, 45, 62)	17.0	56.0	5
3	(5, 7, 12, 56, 67)	20.0	29.0	5
4	(3, 6, 26, 28, 59, 64, 65)	22.5	24.0	7
5	(36, 50)	32.5	49.5	2
6	(29, 63)	33.0	70.0	2
7	(2, 8, 40, 41, 52, 55, 60, 61)	33.0	39.0	8
8	(20, 25, 32, 38, 53, 70)	47.5	39.0	6
9	(16, 18, 31, 37, 39, 58, 69)	51.0	50.5	7
10	(17, 24, 30, 44, 46, 51, 54)	55.0	53.0	7
11	(11, 13)	69.0	45.0	2
12	(10, 15, 19, 34)	84.0	71.0	4
13	(22, 27)	87.0	+33.0	2

Для среднего гриничского времени

Августа 29.95 $\quad \lambda = 157^\circ 29'$

координаты центра радиации будут:

$$\alpha = 39^\circ\!.1, \qquad \delta = +44^\circ\!.9.$$

Далее из них следует:

$$l = 52^\circ\!.1, \qquad b = +28^\circ\!.0$$

и

$$\theta = 116\overset{\circ}{.}6, \qquad \varepsilon = 31\overset{\circ}{.}6, \qquad \varepsilon' = 53\overset{\circ}{.}4,$$
$$l' = 36\overset{\circ}{.}4, \qquad b' = 45.9, \qquad s = 111.0.$$

Наконец,

$$i = 50\overset{\circ}{.}3, \qquad v = 42\overset{\circ}{.}0.$$

Интересно сопоставить теперь все величины, которые мы нашли для наклонения. Наклонение в эпоху явления, выведенное из многих наблюдений за многие годы, может рассматриваться как установленное с достаточной точностью — до нескольких десятых градуса. Величины наклонения для 5.00 и 14.50 августа даны в моей записке «О Персеидах, наблюдавшихся в России в 1890 г.».

Эти величины, а также полученные в настоящей записке, должны сопровождаться их соответственными весами (числами метеоров), чтобы можно было иметь перед глазами степень их точности, когда мы захотим сравнить их с результатами будущих наблюдений:

Время		☊	i	Вес
Июля	29.36	307°5	55°2	42
Августа	3.28	311.8	58.0	28
»	5.00	313.0	59.3	42
»	10.50	317.8	65.8	—
»	14.50	322.1	59.8	10
»	21.08	328.9	57.6	65
»	25.17	332.5	53.4	102
»	29.95	337.5	50.3	64

Поправка i, проистекающая от эксцентриситета орбиты Земли, не имеет для нас значения: она нечувствительна 1 августа, а к 1 сентября достигает величины $+0\overset{\circ}{.}3$ [56].

Прочитав мою записку о разбрасывании радиантов, г. Калландро любезно написал мне по этому поводу письмо, в котором он говорит: «Упоминание, которое Вы захотели сделать о моей работе, заставило меня немедленно искать, не может ли это уменьшение наклонения быть следствием формул, выражаю-

щих возмущения от планет; я нашел, что так должно быть для обратных орбит, начиная с момента, когда возмущения становятся заметными».

«Итак, когда метеорный поток не испытывает влияния планетных возмущений, точка радиации или, вернее, последовательные точки радиации сгущаются; влияние возмущений может самым естественным образом объяснить расхождение радиантов до и после эпохи максимума» [57].

Таким образом, вследствие возмущений от Юпитера (и других больших планет) центр площади радиации изменяет свой узел и свое наклонение к эклиптике; с течением времени эти элементы становятся в значительной мере отличными от элементов производящей кометы.

В некоторую заданную эпоху изменения $\delta\Omega$ и δi, кажется, имеют значение одного и того же порядка, в то время как рассмотрение возмущений метеорных орбит показало нам слабое изменение Ω для сильного изменения i. Однако при этом разборе мы имели в виду только те орбиты, которые проходят очень близко к центру Юпитера. На большем расстоянии $\delta\Omega$ немного увеличивается и в то же самое время δi (численное значение) быстро убывает, так что оба эти изменения могут стать одного и того же порядка [58].

На южной границе площади радиации, где наклонение мало, смещение узла будет очень значительно; у северного края находятся метеоры, для которых изменения i и Ω почти одного и того же порядка, и т. д.

Все эти соображения о подробностях и особенных обстоятельствах явления могли бы быть выведены из общих формул, выражающих изменения элементов в зависимости от обстоятельств, при которых данный метеор проходит через сферу деятельности большой планеты.

Предыдущие таблицы координат радиантов могут навести на некоторые размышления, грубо приблизительного характера, о размерах площади радиации. Возьмем крайние радианты по прямому восхождению и склонению; их разности $\Delta\alpha$

и $\Delta\delta$ представят нам протяжение площади по этим двум направлениям. Таким образом, мы получим:

						α		
							$\Delta\alpha$	
Карты:	I, II	От	347°	до	48°		61	
	III		8		70		62	Среднее 61°
	IV		5		73		68	
	V, VI		355		72		77	
	VII		13		87		74	Среднее 73°
				δ			$\Delta\delta$	
Карты:	I, II	От	27°	до	70°		43°	
	III		30		73		43	Среднее 43°
	IV		22		78		56	
	V, VI		25		64		39	
	VII		24		71		47	Среднее 47°

Можно принять для центра площади в среднем $\delta = 50°$, следовательно, разности $\Delta\alpha = 62°$ соответствует протяжение по дуге большого круга, равное 41°, а разности $\Delta\alpha = 73°$ — протяжение 47°. Видим, что площадь радиации имеет круглую форму и диаметр ее в круглых числах равен 45°. Лунный свет и сумерки должны были немного уменьшить протяжение площади.

Допуская, что истинный диаметр был увеличен из-за ошибок наблюдений, во всяком случае трудно предположить, что он был меньше 40°[59].

Если дано подобное протяжение площади радиации, неравномерно покрытое радиантами, знакомый вопрос о смещении радианта видоизменяется и значение его уменьшается.

Прежде всего это уже не точка, а большая площадь. Далее, так как плоскости различных метеорных орбит по-разному наклонены на протяжении явления и Земля изо дня в день перемещается между этими орбитами, то нет никакого основания предполагать, что сгущение радиации остается целый месяц неподвижным на небе.

Сравнение координат центра площади на самом деле указывает на некоторое смещение этого центра. Так как движение

Земли совершается в плоскости эклиптики и так как наклонение орбит имеет прямое отношение к этой плоскости, естественно показать эклиптикальные координаты рядом с координатами экваториальными.

		α	δ	l	b
Июля	29.4	25°	+46°	41°	+33°
Августа	3.3	39	51	54	33
»	5.0	45	53	59	34
»	10.5	47	57	63	38
»	14.5	45	54	60	35
»	21.1	38	51	53	34
»	25.2	42	48	55	30
»	30.0	40	+45	52	+28

И те и другие координаты показывают, что около эпохи явления видимый центр радиации смещается к северо-востоку, а после эпохи он принимает обратное движение.

1892, ноябрь.

[B. P.,— Mêlanges Math., t. VII; nouv. série, III (XXXV)]

ПЕРСЕИДЫ, НАБЛЮДАВШИЕСЯ В ПУЛКОВЕ в 1893 г.

В Пулкове в 1893 г. гг. Соколов, Стратонов, Иванов, Морин, Костинский и Лебедев нанесли на карты 537 метеоров, а в Москве гг. Блажко и Модестов — 26 метеоров; всего 563 метеора.

В сводке наблюдений можно видеть, что часто один и тот же метеор был зарисован двумя, а иногда и тремя неблюдателями. Наблюдатели пользовались картами г. Цераского (Анналы Московской обсерватории), отнесенными к эпохе 1875.0. Все метеоры, нанесенные на эти карты, были потом перенесены [1] на сетки в гномонической проекции, и таким путем было получено XIV карт для определения точек радиантов.

Появление Персеид длилось по меньшей мере до 12 сентября, затем плохая погода положила конец регулярному наблюдению над ними.

Карты в центральной проекции дали нам следующие точки радиантов с их координатами. Эти радианты сопровождаются указанием среднего момента карты, выраженного в среднем гриничском времени, а также координатами средней точки радиации, являющимися арифметическими средними из координат всех радиантов на карте. При образовании этих средних были приняты во внимание веса отдельных радиантов p.

---

[1] Гг. Диченко, Ивановым, Костинским, Лебедевым и Мориным.

Карта I

Радианты	Вес	α	δ	Ср. гринич. вр.
1 (1, 15)	2	340°5	+55°0	
2 (6, 8)	2	349.0	42.5	
3 (3, 14)	2	3.0	57.5	Июля 24 10^h4
4 (9, 23)	2	11.5	42.0	
5 (11, 12)	2	15.5	37.5	α=24°0
6 (2, 19, 20, 24, 26)	5	22.0	52.5	
7 (5, 10, 21, 25)	4	33.5	48.5	δ=+51°8
8 (7, 18)	2	47.0	43.0	
9 (16, 22)	2	50.0	55.0	
10 (4, 13, 17)	3	62.0	+76.0	

Карта II

Радианты	Вес	α	δ	Ср. гринич. вр.
1 (4, 41, 53)	3	356°0	+44°5	
2 (16, 17, 19, 22, 34, 43, 51)	7	8.5	53.0	Августа 2 21^h8
3 (5, 6, 10, 11, 14)	5	12.5	54.0	
4 (23, 46)	2	17.0	36.0	α=25°4
5 (24, 25, 29, 37, 47)	5	20.5	74.0	
6 (1, 7, 8, 9, 12, 26, 30, 39, 44)	9	31.0	58.0	δ=+51°9
7 (15, 18, 28)	3	31.0	30.5	
8 (3, 27, 31, 32, 33, 35, 36, 38, 40, 41, 45, 48, 49, 50)	14	41.5	49.0	
9 (2, 13, 42, 52)	4	49.0	+56.0	

Карта III

Радианты	Вес	α	δ	Ср. гринич. вр.
1 (16, 28, 50)	3	7°0	+54°0	
2 (1, 6, 41, 27)	4	10.0	58.0	Августа 8 10^h07
3 (10, 38, 57)	3	14.0	43.0	
4 (32, 34, 46, 51)	4	17.0	49.0	α=36°3
5 (30, 35)	2	23.0	67.0	
6 (19, 29)	2	24.0	55.0	δ=+52°7
7 (23, 26, 33, 45, 49, 52, 56)	7	34.5	53.0	
8 (4, 9, 11, 20, 37, 40)	6	42.0	53.0	
9 (5, 8, 12, 13, 15, 22, 24, 25, 31, 42, 44, 47, 48, 54)	14	42.0	49.0	
10 (2, 7, 14, 41, 43)	5	50.0	56.0	
11 (36, 39, 53, 55)	4	60.0	52.0	
12 (3, 17, 18)	3	76.5	+52.0	

Карта IV

Радианты	Вес	α	δ	Ср. гринич. вр.
1 (1, 16, 17)	3	7°5	+54°0	
2 (6, 13, 18, 19)	4	20.0	58.5	Августа 8 10^h6
3 (12, 23)	2	29.0	43.5	α=38°9
4 (5, 10, 14)	3	37.0	52.0	
5 (4, 11, 21)	3	40.0	39.5	δ=49°3
6 (7, 9, 15, 20, 22)	5	56.5	56.0	
7 (2, 3, 8)	3	83.0	+53.5	

Карта V

Радианты	Вес	α	δ	Ср. гринич. вр.
1 (5, 16)	2	2°0	+65°0	Августа 9 10^h4
2 (8, 15)	2	5.0	40.0	
3 (1, 3, 33, 35, 37)	5	33.5	60.5	α=39°4
4 (4, 26, 29)	3	34.0	55.0	
5 (10, 36)	2	37.0	36.0	δ=+53°9
6 (20, 25, 34, 38, 40)	5	42.0	56.0	
7 (17, 28, 31)	3	42.2	54.0	
8 (19, 30)	2	43.0	41.0	
9 (2, 7, 13, 18, 22, 27, 32)	7	45.5	57.0	
10 (6, 11, 23, 39)	4	51.0	57.0	
11 (9, 12, 14, 21, 24)	5	55.0	+51.0	

Карта VI

Радианты	Вес	α	δ	Ср. гринич. вр.
1 (13, 16, 27)	3	35°0	+49°0	
2 (15, 26)	2	38.5	62.5	Августа 9 10^h2
3 (12, 20, 33)	3	38.5	50.0	
4 (1, 8, 21)	3	41.5	55.0	α=48°3
5 (2, 3, 5, 9, 14, 22, 28, 32)	8	44.0	51.0	
6 (7, 29)	2	53.0	31.0	δ=+51°8
7 (6, 11, 17, 19, 23, 25)	6	54.0	53.0	
8 (4, 10, 30)	3	58.0	58.0	
9 (18, 24, 31)	3	67.0	+48.0	

Карта VII

Радианты	Вес	α	δ	Ср. гринич. вр.
1 (3, 14)	2	1°5	+57°5	Августа 11 9^h7
2 (8, 18)	2	17.5	36.0	
3 (4, 22, 24, 32, 50)	5	27.0	61.0	α=45°2
				δ=54°7

Карта VII (продолжение)

Радианты	Вес	α	δ	Ср. гринич. вр.
4 (15, 29, 37)	3	38°0	+54°0	
5 (1, 2, 11, 23, 34, 35)	6	40.5	60.0	
6 (5, 12, 16, 17, 20)	5	46.0	58.0	
7 (44, 47)	2	50.0	43.0	
8 (6, 7, 19, 25, 27, 38, 40, 45, 46, 48, 49, 52)	12	50.0	58.0	
9 (9, 13, 26, 30, 39)	5	52.0	49.5	
10 (21, 31)	2	57.0	48.5	
11 (28, 33, 41, 51)	4	59.0	55.0	
12 (10, 36, 42, 43)	4	70.0	+48.0	

Карта VIII

Радианты	Вес	α	δ	Ср. гринич. вр.
1 (3, 22, 35)	3	3°5	+54°0	
2 (16, 28, 39)	3	21.0	49.0	Августа 11 $10^{h}7$
3 (5, 12, 15)	3	33.5	53.5	
4 (6, 7, 8, 9, 11, 13, 17, 23, 26, 33)	10	43.0	55.5	α=43°2
5 (10, 24, 25, 29, 34, 36, 37)	7	47.5	54.5	δ=+53°1
6 (14, 21, 27, 38)	4	48.0	50.0	
7 (19, 30, 32)	3	62.0	60.0	
8 (1, 4, 18)	3	64.0	49.5	
9 (2, 20, 31)	3	68.5	+45.0	

Карта IX

Радианты	Вес	α	δ	Ср. гринич. вр.
1 (20, 23, 35, 45, 50)	5	9°5	+60°0	
2 (1, 6, 15, 22, 34, 51)	6	18.5	60.0	Августа 20 $15^{h}2$
3 (12, 19)	2	27.0	51.0	
4 (31, 33, 48)	3	32.5	68.0	α=40°2
5 (4, 14, 29, 32, 41, 46)	6	37.0	49.0	
6 (2, 11, 18, 21, 37, 49, 53)	7	37.5	59.0	δ=+54°3
7 (39, 40)	2	45.0	39.0	
8 (3, 5, 10, 16, 25, 52)	6	45.0	47.0	
9 (9, 17, 26, 27, 42)	5	45.0	57.0	
10 (13, 30, 38)	3	57.5	38.0	
11 (24, 28, 43, 44, 47)	5	66.0	54.0	
12 (7, 8, 37)	3	82.0	+59.0	

Карта X

Радианты	Вес	α	δ	Ср. гринич. вр.
1 (9, 24)	2	1°0	+50°0	
2 (14, 18, 42, 49)	4	19.0	59.0	Августа 20 19^{h}2
3 (6, 12)	2	19.5	50.0	
4 (19, 46, 50)	3	20.0	52.4	α=43°1
5 (22, 35, 48)	3	24.5	28.0	δ=+53°3
6 (11, 15, 20, 41, 44, 47)	6	38.0	49.0	
7 (5, 7, 37, 38)	4	42.0	53.5	
8 (3, 4, 13, 23, 27, 28, 29, 33, 39, 45, 51)	11	49.5	60.0	
9 (21, 25, 30)	3	51.0	46.5	
10 (17, 31, 34)	3	57.0	40.0	
11 (1, 2, 10, 26, 36, 43)	6	63.5	65.5	
12 (32, 40)	2	68.0	37.0	
13 (8, 16)	2	83.0	+73.0	

Карта XI

1 (1, 20, 26)	3	350°0	+67°0	Августа 20 14^{h}9
2 (7, 11, 28)	3	15.0	23.0	
3 (9, 17, 32, 36)	4	18.5	56.0	α=36°3
4 (12, 19, 35)	3	29.0	39.0	
5 (2, 5, 14, 23, 33)	5	37.5	60.0	δ=+52°6
6 (3, 10, 24, 30)	4	44.5	49.0	
7 (16, 21, 29, 31)	4	49.0	30.0	
8 (6, 18, 22, 25, 27, 34)	6	54.0	67.0	
9 (4, 15)	2	60.0	74.0	
10 (8, 13)	2	62.0	+58.0	

Из карт IX, X, XI в среднем следует:

Августа 20 15^{h}7 α=39°7, δ=+53°5.

Карта XII

1 (8, 10, 11, 24, 25)	5	23°5	+47°0	Августа 30 10^{h}2
2 (4, 23)	2	30.0	35.5	
3 (2, 16, 19, 22)	4	34.0	70.0	α=40°0
4 (3, 13, 17, 20)	4	36.0	58.5	δ=+49°6
5 (6, 9, 12)	3	51.0	26.0	
6 (1, 5, 7, 14, 15, 18, 21, 26)	8	52.0	+50.0	

Карта XIII

Радианты	Вес	α	δ	Ср. гринич. вр.
1 (14, 23)	2	$9^{\circ}.0$	$+51^{\circ}.0$	Сентября 6 $17^{h}.0$
2 (1, 8, 16, 22)	4	20.0	54.0	
3 (6, 15, 18)	3	28.0	34.0	$\alpha=44^{\circ}.2$
4 (3, 27)	2	33.0	58.0	
5 (5, 17)	2	35.5	61.0	$\delta=+48^{\circ}.1$
6 (2, 33, 34)	3	40.5	51.0	
7 (10, 12, 19, 32)	4	41.0	46.0	
8 (4, 11, 24, 28)	4	44.0	54.0	
9 (25, 26)	2	46.5	44.0	
10 (7, 13, 21, 30, 38)	5	63.0	30.0	
11 (9, 20, 36)	3	68.0	46.0	
12 (29, 31, 35, 37)	4	87.0	+58.0	

Карта XIV

	Вес	α	β	
1 (1, 2, 17, 35)	4	$5^{\circ}.0$	$+35^{\circ}.0$	Сентября 5 $10^{h}.4$
2 (12, 19, 22, 36)	4	30.0	69.0	
3 (4, 13, 14, 26, 30, 32, 33)	7	30.5	34.0	$\alpha=38^{\circ}.4$
4 (21, 37)	2	40.5	48.0	$\delta=+42^{\circ}.8$
5 (9, 25, 27, 28, 34)	5	45.0	47.0	
6 (16, 23)	2	46.0	40.0	
7 (7, 11, 29)	3	47.0	34.0	
8 (5, 6, 8, 10, 24)	5	51.0	22.0	
9 (18, 31)	2	52.0	64.0	
10 (3, 15, 20)	3	56.5	+60.0	

По картам XIII и XIV находим следующие средние:
Сентября 6 $1^{h}.7$ $\alpha = 41^{\circ}.3$, $\delta = 45^{\circ}.4$.

При преобразовании координат α и δ предшествующих радиантов в l и b нужно исправить l за прецессию (32′). Затем мы находим в «Nautical Almanac» долготы Солнца λ для соответствующих моментов и вычисляем долготы апекса L. При этих данных последующие вычисления нам дают величины θ, ε, ε', b', i, s и V. Здесь s — угол радиуса-вектора с касательной

к орбите в узле; V — аномалия для узла, считаемая положительной, когда перигелий находится к северу от эклиптики; $i = 180° - I$, где I — наклонение орбиты согласно обозначению Гаусса.

Следовательно, будем иметь:

		l	b	λ	L	θ	ε
Июля	24.41	44°27′	38°23′	122° 9′	32°31′	75°22′	39°55′
Августа	2.91	45 29	38 5	131 13	41 40	85 8	38 15
	8.42	53 27	35 57	136 30	47 1	81 13	36 27
	8.44	53 42	32 10	136 32	47 3	79 32	32 47
	9.43	56 10	36 20	137 27	47 59	79 3	37 7
	9.43	61 21	32 29	137 28	48 0	70 4	34 50
	11.40	60 24	35 50	138 25	48 59	74 40	37 23
	11.45	58 22	34 46	138 27	49 1	76 49	35 51
	20.66	56 9	35 54	148 16	58 56	93 51	36 0
	30.43	54 37	32 11	157 42	68 29	110 51	34 45
Сентября	6.07	53 53	27 57	164 9	75 1	124 12	34 31

		ε'	b'	s	V	i
Июля	24.41	66°54′	62°52′	76°.6	+26°.9	66°.2
Августа	2.91	64 13	63 47	85.6	+ 8.8	64.1
	8.42	61 17	60 5	82.3	+15.4	61.0
	8.44	55 17	53 56	81.4	+17.2	54.8
	9.43	62 23	60 27	80.2	+27.2	62.0
	9.43	58 39	53 24	73.1	+33.9	57.1
	11.40	62 48	59 4	76.4	+19.4	62.1
	11.45	60 19	57 46	78.6	+22.9	59.7
	20.66	60 33	60 19	93.4	— 6.7	60.5
	30.43	58 31	52 50	107.7	—35.3	56.8
Сентября	6.07	58 8	44 37	118.5	—57.0	53.1

Нужно отметить, что для кометы $V = +27°$.

Сочетая эти результаты с теми, которые были получены в моей статье о Персеидах в 1892 г., мы находим:

		i	Вес	V
Июля	24.50	66°2	26	+27°
	29.40	55.2	42	
Августа	3.10	62.0	80	+20
	5.00	59.3	42	
	8.43	59.1	80	+24
	9.43	59.8	73	
	10.50	65.8	—	
	11.43	61.0	91	+20
	14.50	59.8	10	
	20.87	59.6	205	−11
	25.17	53.4	102	−21
	30.19	52.2	90	−39
Сентября	6.07	53.1	75	−57

Числа, полученные для V, конечно, имеют только приближенное значение.

Рассмотрение этих чисел показывает:

1. На протяжении явления изменение узла охватывает 42°.

2. Изменение i резко выражено, начиная с эпохи максимума и до конца явления; оно менее выражено до эпохи максимума.

Наблюдения в Пулкове настолько точны, что из них вытекает один еще очень важный факт, именно:

3. Положение среднего перигелия меняется довольно правильно: эта точка смещается в направлении движения кометы. Однако мы видели прежде («О рассеянии радиантов»... Таблицы изменений элементов), что в сумме всех прохождений метеора с обратным движением около большой планеты должно преобладать прямое движение узла. Числовая величина этого движения тем больше, чем меньше время обращения метеора. Положение этого узла несимметрично по отношению к узлам метеоров: оно кажется ближе к началу явления, чем к его концу.

Тем не менее вопрос: до какой даты длится и когда начинается явление? — остается еще открытым, и надо продолжать наблюдения в обоих направлениях.

Непрерывность явления между крайними датами подтверждает мысль об очень большом разнообразии периодов и в то же самое время указывает на повторное образование метеоров или на их повторное выбрасывание из тела кометы.

Существование подобного выбрасывания было подтверждено наблюдениями. Известно, что Скиапарелли наблюдал на протяжении нескольких дней до перигелия, от 30 июля до 6 августа, аномальный хвост, длина которого в нижнем пределе[1] равнялась 200 000 географич. миль. Этот хвост отнюдь не находился в орбите кометы, и его положение в плоскости этой орбиты очень хорошо представляется гиперболическим движением частиц, испущенных кометой; после перигелия гиперболы должны были уступить место эллипсисам.

В аномальном хвосте кометы 1844 («Annales de Observatoire de Moscou», série 2, I, 1) частицы, выброшенные под известным углом к радиусу-вектору и расположенные в конце этого хвоста, двигались по эллиптической орбите, имеющей большую полуось $A = 7.4$ и время обращения $T = 20$ лет.

Скиапарелли добавляет к своим наблюдениям кометы 1862 III следующее важное замечание: «Наиболее примечательная внезапная фаза извержения в день 25 августа (уже после прохождения через перигелий) показывает, что в этот день ядро выбросило из себя много малых телец»[60].

Далее нужно просмотреть прекрасные рисунки кометы о. Секки, а также Виннеке, Шмидта и других, чтобы убедиться в живости и силе истечений в этом уже истощенном светиле и мысленно увеличить их масштаб в прошлом.

Среднее положение перигелия роя испытало еще более значительное изменение, и наши только что упомянутые таблички показывают, что движение перигелия является непосредственным следствием возмущений, вызванных большими планетами. Непрерывный ряд этих изменений снова требует допущения почти бесконечного разнообразия времен обращения.

---

[1] S c h i a p a r e l l i. Osservazioni sulla grande cometa del 1862.

Наконец, наклонение (его дополнение до 180°) также убывает в более умеренной пропорции, чем другие элементы, ибо при прохождении метеора через эклиптику, перед планетой и за ней, величина Δi меняет свой знак и ее положительное значение лишь очень немного превосходит отрицательное значение.

Наши маленькие таблички пригодны только для приближенных заключений.

Интересно подвергнуть вычислению все радианты какой-либо даты; возьмем для этой цели все радианты для 24 июля и для 20 августа.

Для 24.41 июля имеем (карта I):

$$\lambda = 122°9', \qquad L = 32°31'.$$

l	b	θ	ε	ε'
16° 6′	55°52′	100°51′	57°26′	94° 1′
11 28	42 29	111 25	46 30	77 22
34 38	49 47	88 13	49 49	82 31
29 28	33 43	94 34	33 50	57 1
34 5	34 42	87 44	34 44	58 29
43 29	39 35	77 3	40 50	68 22
49 27	32 47	65 40	36 27	61 18
57 21	24 23	47 11	34 15	57 42
63 43	34 12	53 43	45 39	76 1
79 30	53 37	61 41	66 8	106 25

b'	l'	s	V	i
78°26′	−36°.9	100°.8	−21°.6	94°.1
65 17	−25.9	110.9	−41.7	76.5
82 19	+45.9	88.2	+ 3.5	82.5
56 44	+25.5	93.8	− 7.7	56.9
58 25	+36.2	88.1	+ 3.9	58.5
64 57	+62.0	78.0	+24.0	67.9
53 3	+69.5	68.8	+42.4	59.0
38 19	+79.6	54.9	+70.1	49.3
51 28	+99.7	55.0	+70.1	72.9
57 37	+90.7	62.9	+54.1	71.5

Средняя величина $V = +20°$.

Для 20 августа получаем (карта XI):

$$\lambda = 148°16', \quad L = 58°56'.$$

l	b	θ	ε	ε'
38°51′	60°37′	100°57′	62°34′	101°26
23 22	15 17	154 50	38 18	64 18
43 26	43 37	105 40	45 46	76 12
41 48	32 10	115 6	36 1	60 35
58 6	42 19	90 55	42 27	70 57
57 37	30 38	92 13	30 40	51 48
55 7	11 27	108 12	12 4	20 34
71 16	45 57	78 19	47 13	78 29
78 53	54 2	76 6	56 29	92 36
72 34	36 17	72 12	38 26	64 30

b'	l'	s	V	i
74°15′	—77°8	100°7	—21°5	101°6
22 32	— 3.1	144.6	—109.3	41.5
69 14	+11.2	105.2	—30.4	75.7
52 5	+22.0	111.7	—43.4	58.1
70 56	+56.3	90.9	— 1.7	71.0
51 45	+56.1	91.7	— 3.5	51.8
19 30	+52.3	96.3	—12.6	19.6
73 39	+103.7	78.6	+22.9	78.3
75 52	+159.4	76.1	+27.8	87.3
59 15	+ 91.6	74.0	+32.0	63.4

Здесь средним значением V будет —14°.

Эти таблицы показывают нам, до какой степени элементы i и π различны в радиации для одной и той же даты. Средняя величина V для 24 июля есть +120°, а для 20 августа —14°. Если мы нанесем на карту величины l и b, мы получим представление о протяжении площади радиации; для этого достаточно привести к большому кругу дуги по долготе. Таким образом, мы видим, что радиус площади, включая в нее слабые внешние радианты, охватывает более 20°. К концу явления точки

радиантов кажутся менее сконцентрированными и более разбросанными.

Касательные к орбитам, проведенные через точку восходящего узла, образуют пучок; для построения этих пучков мы имеем полярные координаты:

Июля 24		Августа 20		Июля 24		Августа 20	
s	*i*	*s*	*i*	*s*	*i*	*s*	*i*
111°	77°	145°	42°	78°	68°	92°	52°
101	94	112	68	69	59	91	71
94	57	105	76	63	72	78	78
88	83	101	102	55	49	76	87
88	59	97	20	55	41	74	63

Тупые углы *i* указывают на прямое движение.

Если бы глаз поместить в узле, он увидел бы расхождение лучей пучка. Интересно, так сказать, материализовать эти пучки с помощью приведенных выше полярных координат. Нужно только воткнуть иголки в пробковую пластинку и придать им направления, указанные углами *s* и *i*.

Пучок существует всегда, в любую дату, почти с тем же самым расхождением: около эпохи максимума его лучи более сгущены к центру, в другие дни — ближе к началу и концу явления — они более разбросаны.

При образовании метеоров единственно с помощью разлагающей силы Солнца частицы должны располагаться вдоль орбиты и в самой орбите производящей кометы, образуя узкую полосу, в которой орбиты различных частиц образуют между собой лишь очень малые углы. Возмущения от больших планет не смогли бы заставить эти орбиты значительно отклониться в точках их кольца [61].

Итак, если мы считаем необходимым ввести нового деятеля в процесс разложения, мы нисколько не обязаны принимать, что он действует только в плоскости орбиты,— напротив, ибо орбиты метеоров по-разному наклонены к плоскости кометной орбиты.

Проф. Ньютон[1], которому метеорная астрономия столь многим обязана, считал необходимым ввести нового деятеля, но при условии, что эта сила действует в плоскости орбиты кометы; в противном случае, по его мнению, частицы роя рассеялись бы и не были бы способны являться нам в виде роя.

Однако, во-первых, рой может существовать вообще, при известных условиях по отношению к j и J, как мгновенная периодическая форма; затем в случае Персеид мы имеем не один рой в истинном смысле этого слова, но пучки орбит, пересекающих орбиту нашей планеты и крайне различных во всех отношениях.

Что касается существования извержений,— это факт, почти доказанный, как мы говорили, явлениями аномальных хвостов и энергичных излияний у многих комет.

1894, апрель.

(B. P., 1894, septembre, № 1).

---

[1] Proceedings of the American Philosophical Society, vol. XXXII, 24 november 1893.

ПЕРСЕИДЫ, НАБЛЮДАВШИЕСЯ В РОССИИ В 1894 г.

Метеоры этого потока наблюдались в Одессе гг. Орбинским (О), Васильевым (В) и Цветиновичем (Ц) и в Киеве гг. Хандриковым (X) и Фогелем (Ф). Наблюдатели пользовались картами г. Цераского (Анналы Московской обсерватории, эпоха 1855.0).

Все метеоры, зарисованные на этих картах, были затем перенесены на сетку в гномонической проекции гг. Диченко, Ивановым, Костинским, Ковальским, Мориным и Серафимовым. Я пользуюсь случаем выразить мою благодарность всем этим господам.

Нужно отметить, что опыт наблюдения метеоров вообще ясно показывает, что наблюдатель охватывает с большим трудом те из них, для которых направления движения образуют острые углы с вертикалью, проведенной снизу вверх.

В настоящем случае, например, пути метеоров, продолженные в обратном направлении, оставляют почти пустым на карте пространство между 45° и 165° по прямому восхождению и располагаются в угле в 240° — между 165° и 45° в среднем. Это обстоятельство, вероятно, оказывает некоторое влияние на точность определения точек радиантов.

Карты, построенные в центральной проекции, дали мне следующие точки радиантов с их координатами. Эти точки сопровождаются указанием среднего момента карты, выраженного в среднем гриничском времени и координатами средней

точки радианта, являющейся арифметическим средним из координат всех радиантов на карте. При образовании этих средних были приняты во внимание веса отдельных радиантов *p*. Радиант, даваемый одним метеором, появление и исчезновение которого произошли в одной и той же точке, может рассматриваться как образованный пересечением по меньшей мере двух метеоров, и, следовательно, я ему приписываю вес 2. Пропущенные номера относятся к посторонним или отдельным метеорам.

Карта I

Радианты	α	δ	Вес	Ср. гринич. вр.
1 (14, 18, 30)	1°0	+63°5	3	
2 (3, 8)	1.5	37.0	2	Июля 24 $21^h.6$
3 (24, 33)	11.0	42.0	2	
4 (6, 17, 27, 32, 35)	11.5	52.0	5	α = 20°2
5 (1, 10, 23, 25, 34)	12.5	59.0	5	
6 (11, 12, 19, 28)	26.0	63.0	5	δ=+56°0
7 (16, 21, 29, 31)	28.5	49.0	4	
8 (15)	31.0	54.5	2	
9 (7, 22, 36)	35.0	75.5	3	
10 (4, 20, 26)	43.0	+51.0	3	

Карта II

Радианты	α	δ	Вес	Ср. гринич. вр.
1 (14, 33, 36, 49)	359°5	+38°0	4	
2 (3, 26)	6.5	45.5	2	Июля 26 $9^h.5$
3 (43, 51)	7.5	51.0	2	
4 (7, 48)	7.5	39.0	2	α=28°4
5 (4, 20, 21, 31, 47)	11.0	60.0	5	
6 (18, 24)	14.0	51.5	2	δ=+52°9
7 (11, 22, 38, 42, 45, 46, 50, 46)	21.0	51.0	8	
8 (17, 35)	26.0	50.5	2	
9 (10, 19)	28.0	72.0	2	
10 (15, 37, 39, 54)	34.5	48.0	4	
11 (6, 25, 57)	36.0	51.0	3	
12 (23, 30)	44.0	39.0	2	
13 (27, 55)	48.0	47.0	2	
14 (16, 52)	53.5	64.0	2	
15 (5, 9, 29, 48)	55.0	55.0	4	
16 (8, 13)	62.0	70.0	2	
17 (2, 53)	73.0	+79.5	2	

Карта III

Радианты	α	δ	Вес	Ср. гринич. вр.
1 (53, 70)	347°0	+64°5	2	
2 (15, 39)	7.0	46.0	2	Июля 27 9^h9
3 (25, 58)	8.0	62.0	2	
4 (11, 42, 74)	8.0	56.5	3	α=36°9
5 (54, 63, 65)	10.0	49.0	3	
6 (10, 13, 27, 29, 68)	21.0	58.5	5	δ=+53°7
7 (12, 14, 20, 61)	22.0	65.6	4	
8 (2, 4, 19, 66)	24.0	63.0	4	
9 (49)	34.0	47.0	2	
10 (18, 21, 41)	35.0	46.0	3	
11 (7, 35, 43, 44, 72)	36.5	43.0	5	
12 (8, 28, 62)	38.0	40.0	3	
13 (17, 45, 46, 48, 50)	39.5	48.0	6	
14 (24, 32, 59)	40.0	56.0	3	
15 (16, 51)	42.5	52.5	4	
16 (3, 23, 37)	52.0	59.5	3	
17 (22, 34, 60)	54.0	46.0	3	
18 (5, 31)	56.0	53.0	2	
19 (69, 71)	66.0	62.0	2	
20 (6, 30)	68.0	64.5	2	
21 (47, 52)	72.0	65.5	2	
22 (36, 64, 67)	79.0	46.0	3	
23 (38, 40)	81.0	+57.5	2	

Карта IV

1 (3, 5)	350°0	+53°0	2	
2 (16, 32)	356.0	60.0	2	Июля 29 9^h5
3 (6, 12)	2.5	51.0	2	
4 (18, 35)	5.0	67.0	2	α=26°9
5 (52, 54)	9.0	51.0	2	
6 (14, 27)	13.0	36.0	2	δ=+42°3
7 (1, 57)	18.0	67.0	2	
8 (19, 47, 48)	18.0	50.0	3	
9 (15, 37)	19.0	42.0	2	
10 (30, 36, 44, 45)	21.0	57.5	4	
11 (26, 38, 40, 43)	23.0	49.0	5	
12 (23, 25)	24.0	+62.0	2	

Радианты	α	δ	Вес	Ср. гринич. вр.
13 (8, 21)	30°5	+39°0	2	
14 (17, 33)	34.0	53.0	2	
15 (31, 42, 53)	35.0	50.0	3	
16 (22, 24)	40.0	49.0	2	
17 (39, 41)	42.0	53.0	2	
18 (51)	47.0	53.5	2	
19 (20, 45, 46, 56)	56.0	43.0	4	
20 (29, 34)	58.0	63.0	2	
21 (28, 50)	67.0	+55.0	2	

Карта V

1 (5, 29)	18°0	+54°0	2	
2 (12, 16, 39)	20.0	50.0	3	Июля 30 $5^h.4$
3 (1, 6)	30.0	42.0	2	
4 (2, 15)	30.0	35.0	2	$\alpha=40°7$
5 (19, 36)	31.0	47.5	2	
6 (10, 53, 55)	31.5	38.5	3	$\delta=+50°2$
7 (25, 41)	35.0	55.5	2	
8 (3, 52)	35.0	37.0	2	
9 (13, 32, 40)	36.0	57.0	3	
10 (26, 42)	36.0	60.0	2	
11 (8, 33, 54)	36.0	52.5	3	
12 (7, 11, 17, 20, 38)	41.0	38.0	5	
13 (14, 23, 27, 37)	42.5	55.0	4	
14 (31, 51, 56)	43.0	49.0	3	
15 (4)	49.5	48.5	2	
16 (35)	50.0	56.5	2	
17 (9, 46)	53.0	42.0	2	
18 (44, 49)	59.0	61.0	2	
19 (21, 28, 34, 50)	60.0	63.0	4	
20 (18, 22)	74.0	+65.0	2	

Карта VI

1 (81, 91)	359°0	+64°0	2	
2 (1, 62)	12.0	61.0	2	Июля 30 $23^h.2$
3 (27, 37)	18.5	36.0	2	
4 (4, 35, 36)	20.0	59.0	3	$\alpha=37°2$
5 (13, 50, 60)	21.5	+47.0	3	$\delta=+50°5$

Радианты	α	δ	Вес	Ср. гринич. вр.
6 (42, 86, 88)	23°0	+57°5	3	
7 (12, 21, 23, 30, 53, 71, 79, 82, 87)	25.0	52.0	9	
8 (67, 77, 85)	32.5	49.0	3	
9 (2, 22, 32, 40, 48, 72)	34.0	53.0	6	
10 (5, 16, 20, 47, 61, 65)	34.5	57.0	6	
11 (24, 29, 33, 39, 83)	36.0	27.0	5	
12 (6, 14, 55, 70, 84)	36.0	49.0	5	
13 (51, 52, 75)	37.5	77.0	3	
14 (58)	37.5	54.7	2	
15 (44, 63, 64, 76, 80)	45.0	50.0	5	
16 (15, 90)	47.0	18.0	2	
17 (31, 43, 45, 46, 54, 66, 68)	49.0	47.5	7	
18 (25, 59, 69, 74, 78)	55.0	54.0	5	
19 (10, 38)	56.0	41.0	2	
20 (57)	63.8	50.3	2	
21 (9, 26, 28, 56)	77.0	+53.0	4	

Карта VII

1 (50, 85)	353°0	+58°0	2	
2 (30, 75)	7.0	38.0	2	Августа 3 18^{h}1
3 (29, 76)	8.0	43.0	2	
4 (22, 52)	15.5	40.0	2	α=39°1
5 (16, 57)	23.0	31.0	2	
6 (4, 27, 73)	24.0	49.0	3	δ=+48°6
7 (3, 47, 48)	33.0	38.5	3	
8 (5, 7, 8, 61, 65, 74)	33.0	53.5	6	
9 (32, 68, 81)	34.0	56.0	3	
10 (26, 62, 72, 86, 88)	36.0	64.0	5	
11 (78)	37.2	56.2	2	
12 (9, 18, 23, 58, 83, 84)	38.0	56.0	6	
13 (2, 15, 19, 60, 63, 71)	38.5	58.0	6	
14 (10, 11, 21, 41, 69)	40.0	53.0	5	
15 (6, 14, 77)	40.0	51.5	4	
16 (39, 53, 70)	42.0	54.0	3	
17 (13, 17, 25)	43.0	+55.5	3	

Радианты	α	δ	Вес	Ср. гринич. вр.
18 (24, 36, 42, 82)	44°0	+49°0	4	
19 (44, 55, 66)	46.0	25.5	3	
20 (54, 64, 67)	48.0	60.0	3	
21 (28, 37, 51, 59)	50.0	23.5	4	
22 (1, 79)	53.0	52.0	2	
23 (34, 40)	55.0	38.0	2	
24 (20, 38)	57.0	39.0	2	
25 (12, 45)	58.0	32.0	2	
26 (43, 56)	59.0	34.0	2	
27 (31, 46)	73.0	45.0	2	
28 (33, 35)	79.0	+59.0	2	

Карта VIII

Радианты	α	δ	Вес	Ср. гринич. вр.
1 (27, 30)	1°0	+42°5	2	
2 (19, 44, 63)	10.0	37.4	3	Августа 5 $10^{h}2$
3 (31, 77, 84)	15.0	66.0	3	
4 (2, 29)	18.0	51.5	2	α=39°4
5 (12, 68)	19.0	43.0	2	
6 (60, 74)	24.0	60.4	2	δ=+50°7
7 (11, 33, 41, 61)	28.0	53.0	4	
8 (5, 14, 26, 46, 72, 90)	32.0	48.0	6	
9 (38, 50, 52)	32.0	54.0	3	
10 (9, 20, 86)	32.8	52.0	3	
11 (28, 40, 42, 48, 53, 85, 88)	37.5	45.0	7	
12 (1, 37)	38.0	72.8	2	
13 (34, 56, 87)	40.5	32.0	3	
14 (4, 13, 16, 18, 36, 47, 55, 73)	41.5	56.5	8	
15 (3, 32, 79, 81, 83, 89)	45.5	57.5	6	
16 (7, 10, 17, 23, 35, 67)	45.5	54.0	6	
17 (15, 24, 25, 59, 65, 70, 76, 91)	46.0	52.0	9	
18 (57, 69)	49.0	26.0	2	
19 (8, 43, 75, 80)	58.0	40.0	4	
20 (64, 71, 82)	61.5	41.5	3	
21 (22, 39, 49, 58)	62.0	62.6	4	
22 (6, 45, 51)	72.0	+52.3	3	

Карта IX

Радианты	α	δ	Вес	Ср. гринич. вр.
1 (21, 34, 39)	10°0	+37°0	3	
2 (29, 37, 62)	13.0	41.0	3	Августа 6 $11^{h}.5$
3 (16, 27, 30)	17.0	34.0	3	
4 (7, 41)	24.0	53.0	2	α=37°2
5 (23, 32, 49)	24.0	31.0	3	
6 (40, 57, 64, 65, 66)	28.0	54.0	5	δ=+45°4
7 (31)	29.5	28.5	2	
8 (9, 10, 48)	34.0	53.0	3	
9 (24, 35, 38)	35.0	44.0	3	
10 (6, 26, 42, 56, 60, 67)	36.0	51.5	6	
11 (44, 45, 58)	38.0	38.0	3	
12 (5)	40.5	53.0	2	
13 (18, 28, 46, 70)	42.0	58.0	4	
14 (33)	43.5	53.4	2	
15 (12, 20, 25, 59, 63)	45.0	35.0	5	
16 (15, 17, 68)	45.5	47.0	3	
17 (4, 13)	46.0	65.0	2	
18 (3, 8, 47, 53)	46.0	54.0	4	
19 (11, 14, 15, 51)	51.0	23.0	4	
20 (54, 71)	53.0	37.0	2	
21 (19, 50, 69, 72)	54.0	52.0	4	
22 (22, 43, 61)	55.0	+55.0	3	

Карта X

Радианты	α	δ	Вес	Ср. гринич. вр.
1 (12, 43)	9°0	+58°5	2	
2 (37)	15.5	35.6	2	Августа 7 $10^{h}.7$
3 (34, 38, 65)	16.0	35.0	3	
4 (3, 24, 25, 60)	27.5	54.0	4	α=42°4
5 (8, 35, 73)	27.8	31.6	3	
6 (6, 19, 30, 53)	28.0	50.0	4	δ=+49°1
7 (15, 68)	29.0	39.0	2	
8 (51, 90)	32.0	18.5	2	
9 (14, 49, 56, 89)	33.0	43.0	4	
10 (16, 33, 63)	33.5	56.0	3	
11 (21, 40, 44, 61, 70, 71, 78, 80)	39.5	+54.5	8	

Радианты	α	δ	Вес	Ср. гринич. вр.
12 (50, 59)	39°5	29°5	2	
13 (39)	39.5	48.5	2	
14 (5, 46, 75, 88)	42.0	51.5	4	
15 (2, 72, 76, 86)	43.0	46.0	4	
16 (4, 7, 10, 32, 54, 64, 79, 83, 85)	44.0	55.0	9	
17 (11, 13, 22, 31, 81, 82, 84)	44.0	59.0	7	
18 (36)	45.8	44.1	2	
19 (57, 58, 62, 66, 74)	49.0	50.7	5	
20 (1, 69, 91)	50.5	55.0	3	
21 (9, 18, 77)	55.0	51.0	3	
22 (55, 67, 87)	56.4	32.0	3	
23 (23, 26, 47, 42)	66.0	51.0	4	
24 (17, 45)	70.5	63.5	2	
25 (27, 41, 42)	75.0	57.0	3	
26 (20, 29)	85.5	+54.0	2	

Карта XI

1 (14, 62)	21°0	+60°5	2	
2 (25, 42)	24.0	31.5	2	Августа 10 $6^h.5$
3 (6)	27.5	62.8	2	
4 (4, 8)	33.0	31.0	2	α=47°5
5 (5, 56)	34.0	32.5	3	
6 (10)	35.5	32.5	2	δ=+50°0
7 (3, 40)	37.5	49.0	3	
8 (44, 53)	39.0	25.0	2	
9 (7, 26, 29, 31, 37, 54, 60)	41.5	55.0	7	
10 (16, 39, 43, 51, 58)	46.0	54.0	5	
11 (45, 59, 63)	47.0	60.0	3	
12 (22, 28, 33, 41, 50, 52, 55)	50.0	58.5	7	
13 (12, 17, 38)	53.0	53.0	3	
14 (15, 18, 24, 46, 47, 48, 57)	55.0	56.0	7	
15 (49)	57.0	48.8	2	
16 (19, 27, 30, 36, 61)	57.0	50.0	5	
17 (1, 23, 34)	60.0	46.0	3	
18 (2, 21, 32)	61.0	43.0	3	
19 (9, 13, 20)	61.5	56.0	3	
20 (11, 64)	76.0	+47.0	2	

Карта XII

Радианты	α	δ	Вес	Ср. гринич. вр.
1 (26, 51, 53)	10°0	+47°0	3	
2 (30)	16.1	34.7	2	Августа 11 $9^h.5$
3 (44)	17.6	34.8	2	
4 (8, 16, 32)	19.5	36.5	3	α=34°8
5 (20, 36, 43, 57)	21.0	47.0	4	
6 (59)	21.8	35.0	2	δ=+42°3
7 (11, 28)	25.0	30.0	2	
8 (3, 10, 29)	26.5	19.5	3	
9 (48)	26.5	17.5	2	
10 (17, 19, 24, 54)	28.0	45.5	4	
11 (62)	28.2	34.5	2	
12 (41)	28.2	30.3	2	
13 (42)	28.5	42.1	2	
14 (2, 33, 38, 45, 46)	29.5	42.0	5	
15 (25)	30.4	42.5	2	
16 (31)	32.5	32.5	2	
17 (50, 60, 63)	38.0	56.0	3	
18 (52)	38.5	46.4	2	
19 (47)	39.3	49.5	2	
20 (1, 5, 15, 40)	40.0	50.5	4	
21 (34)	42.5	46.5	2	
22 (55)	44.5	36.8	2	
23 (9, 13, 14, 64)	45.0	57.0	4	
24 (39)	46.5	39.5	2	
25 (6, 7, 12, 21)	49.0	56.0	4	
26 (27, 61)	52.0	26.0	2	
27 (4, 18, 56)	57.5	52.0	3	
28 (22, 23)	62.0	51.0	2	
29 (35, 58)	76.0	+46.0	2	

Карта XIII

1 (14)	1°5	+28°5	2	
2 (5, 11, 34)	6.5	36.0	3	Августа 26 $18^h.2$
3 (18, 28, 45)	10.0	70.0	3	
4 (13)	12.0	59.5	2	α=33°0
5 (4, 26, 36, 43)	13.5	+59.0	4	δ=+46°4

Радианты	α	δ	Вес	Ср. гринич. вр.
6 (12)	14°0	+35°0	2	
7 (16)	27.0	63.0	2	
8 (25, 41, 42, 46)	27.0	43.5	4	
9 (19, 32, 49)	27.5	39.0	3	
10 (22, 27, 40, 44, 56)	31.0	48.0	5	
11 (15)	33.0	32.0	2	
12 (23, 30)	34.5	44.0	2	
13 (20, 24, 35)	38.5	56.0	3	
14 (6, 10)	41.5	51.5	2	
15 (37, 55, 59)	41.5	37.0	3	
16 (8, 38)	42.5	42.5	2	
17 (29, 52, 54)	46.5	38.0	3	
18 (9, 17, 39, 50, 60)	47.0	48.0	7	
19 (1, 33)	49.0	58.5	2	
20 (3, 31, 53)	50.0	38.0	3	
21 (47)	55.0	48.0	2	
22 (48, 57, 58, 61)	55.0	+41.0	4	

Карта XIV

1 (56, 71)	0°0	+51°0	2	
2 (18, 73)	0.0	49.7	2	Сентября 3 $8^h.7$
3 (51, 79)	3,0	42.0	2	
4 (50, 52, 54, 61)	9.0	64.0	4	α=41°3
5 (7, 57)	16.5	44.0	2	
6 (66, 72)	20.0	47.0	2	δ=+49°2
7 (2, 60, 63)	26.0	73.5	3	
8 (6, 31, 87)	33.5	42.0	3	
9 (11, 32, 58, 81)	34.0	55.0	4	
10 (37, 74, 84)	35.0	49.5	3	
11 (14, 34, 40, 44, 59)	35.0	38.5	5	
12 (9, 78)	36.0	30.5	2	
13 (53)	39.5	56.0	2	
14 (12, 17, 22, 25, 27, 88)	40.5	39.0	6	
15 (15)	41.0	53.0	2	
16 (13, 19, 26, 29, 65)	43.0	59.3	5	
17 (28)	43.0	55.2	2	
18 (5, 16, 48, 49)	44.0	57.0	4	
19 (36, 62, 83)	45.0	41.5	3	
20 (1, 4, 55, 75)	48.0	+51.0	4	

Радианты	α	δ	Вес	Ср. гринич. вр.
21 (8, 33, 64, 80)	48°0	+59°0	4	
22 (23, 69, 77)	50.0	32.0	3	
23 (47, 82)	51.0	40.5	2	
24 (21, 43, 45, 67, 70)	51.5	46.5	5	
25 (30, 35, 86)	61.0	34.5	3	
26 (20, 42, 76)	72.0	66.5	3	
27 (3, 41, 46)	74.0	51.0	3	
28 (24, 38, 68, 85)	91.0	+68.0	4	

Карта XV

1 (1, 18)	5°0	+39°0	2	
2 (10, 21, 22)	14.0	40.0	3	Сентября 7 $1^h.0$
3 (32, 39)	27.0	49.0	2	
4 (9, 13, 29, 44)	28.0	61.0	4	α=37°6
5 (11, 36, 45, 55)	31.0	46.0	4	
6 (2, 8, 23, 38, 40, 41)	35.0	57.0	6	δ=+52°1
7 (17)	35.0	42.2	2	
8 (4, 7, 34)	37.0	48.0	3	
9 (6, 12, 35)	37.5	43.0	3	
10 (14, 19, 20, 24, 26)	42.0	52.5	5	
11 (25, 27, 46)	42.5	63.0	3	
12 (31, 50)	43.0	50.0	2	
13 (33, 37, 42)	44.0	48.5	3	
14 (28, 43)	52.0	38.0	2	
15 (15, 16, 30, 52)	53.0	70.5	4	
16 (47, 48)	58.0	54.0	2	
17 (3, 53)	60.0	+62.0	2	

Преобразовав координаты α и δ радиантов в l и b, мы должны исправить l за прецессию (+33′). Затем мы находим в «Nautical Almanac» долготы Солнца λ для соответствующих моментов и вычисляем долготы апекса L. Пользуясь этими данными, вычисляем величины θ, ε, ε', l', b', i, s и V; здесь s — угол радиуса-вектора с касательной к орбите в узле; V — аномалия для узла, считаемая положительной, когда перигелий находится к северу от эклиптики; $i = 180° - I$, где I —

наклонение орбиты по обозначению Гаусса. Итак, будем иметь:

1894		l	b	λ	L	θ	ε
Июля	24.90	44°34′	43° 8′	122°23′	32°44′	77°39′	44°25′
	26.39	48 12	38 7	123 49	34 12	72 52	40 14
	27.41	54 21	36 43	124 47	35 10	66 13	40 48
	29.40	41 38	28 58	126 41	37 6	81 52	29 17
	30.23	55 23	32 36	127 28	37 54	64 50	36 32
	30.96	53 2	33 42	128 11	38 38	69 33	36 19
Августа	3.75	53 33	31 29	131 49	42 19	72 20	33 14
	5.42	54 41	33 22	133 25	43 56	74 11	34 52
	6.48	50 49	28 58	134 25	44 57	79 32	29 30
	7.44	56 8	31 11	135 21	45 54	73 23	32 42
	10.27	60 8	30 56	138 3	48 38	71 36	32 48
	11.40	47 43	26 42	139 8	49 44	94 0	26 46
	26.76	48 8	30 59	153 56	64 42	115 25	34 44
Сентября	3.36	55 24	31 31	161 17	72 8	115 9	35 17
	7.04	54 4	35 5	164 52	75 44	117 44	40 29

		ε'	l'	b'	s	i	V
Июля	24.90	74° 5′	69°35′	69°57′	78° 8′	73°43′	+23°44′
	26.39	67 25	69°32	61 56	74 13	66 29	31 34
	27.41	68 19	80 34	58 15	68 59	66 32	44 2
	29.40	49 31	46 30	48 51	83 49	49 14	12 22
	30.23	61 26	75 54	52 39	68 4	58 58	43 52
	30.96	61 4	70 55	55 5	72 12	59 27	35 36
Августа	3.75	56 2	66 33	52 13	75 25	54 44	29 10
	5.42	58 42	68 5	55 18	76 32	57 43	26 56
	6.48	49 53	57 7	48 46	82 1	49 25	15 68
	7.44	55 10	68 14	51 52	76 25	54 1	27 10
	10.27	55 19	73 9	51 17	74 57	53 54	+30 6
	11.40	45 20	45 42	45 11	92 51	45 8	— 4 18
	26.76	58 30	29 41	50 22	111 28	55 51	42 56
Сентября	3.36	59 23	36 27	51 10	111 27	56 49	42 54
	7.04	67 49	26 56	55 3	115 32	65 16	—51 4

Для кометы $V = +27°$.

Что касается величин i для 24, 26 и 27 июля, нужно заметить, но с оговоркой, что некоторые радианты в эти даты, кажется, принадлежали площади радиации, чуждой потоку Персеид.

Соединяя вышеизложенные результаты с теми, которые я получил в моей статье о Персеидах в 1893 г., находим:

		i	Вес	V	q
Июля	24.7	70°5	60	+25°	0.9532
	26.9	66.5	120	+38	0.8941
	30.0	56.4	226	+30	0.9328
Августа	3.4	58.4	167	+25	0.9532
	5.6	55.1	200	+22	0.9634
	7.9	56.5	172	+24	0.9567
	9.9	56.9	141	+30	0.9328
	10.5	65.9	40	+32	0.9237
	11.4	53.5	167	+ 8	0.9950
	14.5	59.8	10	+19	0.9715
	20.9	59.6	205	—11	0.9908
	26.0	54.4	167	—32	0.9238
	30.0	52.2	90	—39	0.8884
Сентября	3.4	56.8	80	—43	0.8658
	6.6	58.1	127	—54	0.7940

Вычисление элементов для каждой из точек радиации, относящихся к одной и той же дате, приводит к результатам, полученным в моей статье о Персеидах в 1893 г. Они показывают, что для заданной величины узла существует большое разнообразие в величинах i и V.

Значения элемента i для центров радиации, приведенных выше, за исключением трех первых, немного ненадежных, все меньше величины i для кометы (66°4). Средняя величина i до эпохи (августа 10.5) есть 60°, а после эпохи 56°[62].

Просмотр карт радиантов обнаруживает сгущение радиантов к эпохе максимума. Эта эпоха имела место в ночь с 10 на 11 августа, как показывают следующие числа метеоров, наблюдавшихся на 24 станциях в Италии и опубликованных о. Денца (Comptes Rendus, 17 septembre, 1894):

1894	Августа	9—10	10—11	11—12	12—13
		1805	5226	2468	2336.

Итак, среднее арифметическое координат для трех наиболее густых радиантов (вес 7) для 10 августа таково: $\alpha = 48°48'$, $\delta = 56°30'$ (для 10.5 августа). Для этих величин имеем: $l = 63°32'$, $b = 36°51'$, $i = 64°.8$, $s = 72°.8$ и $V = +34°.4$.

Величина i соответствует радианту кометы (66°.4).

Несомненные и весьма значительные изменения, полученные для центров радиации, проявляются в элементах ☊ и π.

Едва ли продолжение наблюдений Персеид сможет указать еще на какие-либо характерные свойства в этом явлении, и, следовательно, наступило время внимательно сравнить это явление с теорией. Я предполагаю поэтому в моей ближайшей записке определить вековые возмущения элементов производящей орбиты, то есть элементов кометы, и некоторых из ее производных орбит.

1895, январь.

(Известия Академии Наук, 1895, март, № 3).

О РАДИАНТАХ АНДРОМЕДИД

1

Внимательное исследование метеорного потока, который явился с поразительным блеском 27 ноября в 1872 и 1885 гг. и площадь радиации которого находится в созвездии Андромеды, очень поучительно, потому что оно может осветить многие вопросы метеорной астрономии.

Чтобы изучить этот поток, я воспользовался ценными наблюдениями, опубликованными в изданиях обсерватории Брера в Милане: «Osservazioni di stelle cadenti durante l'anno 1872». Нужно пожалеть, что итальянские наблюдения за 1885 г. еще не опубликованы до сих пор; из-за этого материал является немного неполным.

Наблюдения 1872 г. дают нам координаты 205 метеоров для промежутка времени между $6^{h}.5$ и $11^{h}.9$; 143 метеора наблюдались о. Денца в Монкальери ($6^{h}.5$—$10^{h}.4$), 62 остальных Кьяварино — в Мондови ($7^{h}.2$—$11^{h}.9$).

Если нанести на карту те и другие, то в первых наблюдениях чувствуется бóльшая опытность, однако мы обязаны принять во внимание как те, так и другие.

Чтобы найти радианты, я использовал сетку в нужной для этого случая проекции. Если число метеоров превосходит 100, становится трудным ориентироваться в этом сплетении продолжений траекторий. С другой стороны, нежелательно иметь на одной и той же карте наблюдения различных лиц. Поэтому

я нанес метеоры на три карты: I — 105 метеоров Денца, II — остальные его 38 метеоров и III — 62 метеора Кьяварино. В изданиях Брера номера метеоров образуют ряд натуральных чисел, проходящий через весь год; по этой причине мы встречаем в ноябре уж очень большие числа. Чтобы не пользоваться ими в таблице радиантов, я заменил на первой карте № 7096 на № 1 и т. д.; на второй карте был поставлен № 1 вместо № 7201; на третьей карте № 1 соответствует № 7240.

Метеоры 30, 32, 33, 90 и 91 первой карты либо приходят из посторонних областей неба, либо являются одиночными и, следовательно, должны быть оставлены в стороне; тогда останется 100 метеоров для первой карты, и они нам дадут 18 радиантов, составленных следующим образом:

I

Радиант	№ метеоров
1	(23, 48, 79)
2	(10, 21, 47)
3	(1, 13, 18, 19, 37, 44, 46, 54, 87, 96)
4	(6, 17, 28, 70, 102)
5	(7, 8, 14, 15, 41, 45, 52, 53, 73, 75, 85, 92, 95, 98, 100, 101)
6	(4, 12, 16, 20, 25, 38, 40, 49, 62, 80, 83, 86, 88, 93, 97, 104)
7	(9, 61, 64)
8	(31, 39, 60)
9	(24, 51, 66, 72)
10	(2, 26, 27, 34, 50, 68, 81, 84, 99)
11	(42, 56, 63, 69, 82)
12	(36, 71, 105)
13	(35, 65, 76)
14	(43, 57, 59)
15	(11, 22, 58, 77, 103)
16	(3, 5, 29)
17	(67, 78, 94)
18	(55, 74, 89)

На второй карте 6 метеоров являются посторонними или одиночными: 18, 23, 25, 27, 37, 38; остальные 32 дают радианты:

II

Радиант	№ метеоров
1	(13, 39)
2	(40, 26, 35)
3	(10, 12, 22, 24, 29)
4	(1, 2, 4, 5, 15, 19, 21, 31, 32)
5	(3, 33)
6	(7, 8, 14, 16, 17, 34, 36)
7	(6, 30)
8	(9, 11)

Наконец, на третьей карте посторонними являются метеоры: 8, 9, 16, 21, 29, 42, 53, 56, 59; остальные 53 метеора образуют радианты:

III

Радиант	№ метеоров
1	(17, 27)
2	(7, 45)
3	(2, 3, 13)
4	(5, 23, 36, 43, 50, 52, 61)
5	(14, 20, 57)
6	(19, 25, 28, 35)
7	(6, 47)
8	(1, 11, 33, 39, 40, 44, 46, 48, 51, 55, 58)
9	(38, 41)
10	(4, 26, 30, 31, 32, 49)
11	(54, 60)
12	(18, 34)
13	(22, 62)
14	(10, 15, 24)
15	(12, 37)

Метеоры наносились наблюдателями на карты «Uranometria nova» Аргеландера, имеющие эпохой 1840.0 год; итак, на наших картах приведены видимые прямые восхождения α и склонения δ, отнесенные к этой эпохе. Число метеоров в радианте явится весом этого радианта. Таким образом, мы будем иметь:

I

Радиант	α	δ	Вес
1	22°6	+40°0	3
2	23.4	51.4	3
3	26.0	48.0	10
4	27.0	45.6	5
5	27.2	41.1	16
6	27.6	43.5	16
7	27.7	38.4	3
8	27.7	39.5	3
9	28.2	51.5	4
10	29.0	44.3	9
11	29.2	49.0	5
12	29.5	54.0	3
13	30.9	39.0	3
14	31.0	56.6	3
15	31.8	42.6	5
16	32.5	52.3	3
17	35.3	56.7	3
18	41.5	+51.9	3

II

Радиант	α	δ	Вес
1	16°0	+34°8	2
2	24.8	44.0	3
3	26.8	43.7	5
4	28.5	44.8	9
5	29.0	36.3	2
6	29.5	41.3	7
7	29.7	37.3	2
8	30.8	+45.4	2

III

Радиант	α	δ	Вес
1	8.0	+51.0	2
2	12.5	36.0	2
3	14.0	49.0	3
4	16.1	45.8	7
5	19.6	45.0	3
6	23.4	44.2	4
7	24.9	46.6	2
8	26.5	42.6	11
9	26.5	30.5	2
10	28.0	41.0	6
11	30.0	46.4	2
12	32.2	45.2	2
13	33.3	49.6	2
14	35.8	47.0	3
15	42.8	+49.0	2

Взяв наиболее сильные радианты, т. е. такие, вес которых по меньшей мере равен 7, мы берем из них среднее арифметическое, другими словами, центр площади радиации, с координатами:

$$\alpha = 27^\circ\!.6, \qquad \delta = +43^\circ\!.5 \ (1840.0)$$

Я нанес координаты всех наших радиантов на карту, которая оказалась мне полезной при вычислении зенитного притяжения и суточной аберрации.

Метеоры кометы Биела обладают прямым движением, их скорость невелика, и на этом основании влияние только что указанных причин очень чувствительно. Чтобы ввести соответствующие поправки, нужно знать зенитные расстояния радиантов, однако в образовании каждого радианта принимают участие

метеоры, отдаленные друг от друга по времени их появления. Таким образом, мы обязаны ограничиться для каждого радианта зенитным расстоянием для среднего арифметического этих времен, и для всех радиантов на данной карте мы будем иметь почти одно и то же среднее арифметическое, другими словами среднее между началом и концом наблюдений для этой карты.

Для этого момента нужно вычислить часовые углы и зенитные расстояния каждого радианта. Величина зенитного притяжения зависит от скорости метеоров, и легко убедиться, что в нашем случае поправка зенитного расстояния, выражаемая Δz, — для расстояний, не превосходящих 30°, — будет:

$\Delta z = 0.102$ для времени обращения в 6.6 лет.
$\Delta z = 0.082$ для времени обращения в 13.0 лет.
$\Delta z = 0.062$ для параболической орбиты.

Согласно нашей теории центральная часть метеорного пучка обращается в 13 лет, и, следовательно, мы примем $\Delta z = 0.082$. Для суточной аберрации мы также воспользуемся скоростью, соответствующей 13 годам обращения. К этим поправкам нужно еще прибавить влияние прецессии за 32 года, что составит $+0^\circ\!.4$ для прямого восхождения и для склонения [63]. Если мы обозначим поправки, обязанные зенитному притяжению и суточной аберрации, через az и ab, мы получим α' и δ', исправленные и приведенные к эпохе 1873.0.

Среднее из моментов наблюдений есть $9^{h}\!.2$ ср. вр. Монкальери и Мондови, то есть, $9^{h}\!.5$ ср. вр. Рима или $8^{h}\!.7$ ср. гринич. вр. Долгота Солнца для этого момента равна 245°59′, откуда имеем долготу апекса $L = 156°31'$. Чтобы получить истинные долготы и широты радиантов, выберем следующий путь: сделаем полное вычисление для 13 сильных радиантов, то есть содержащих по меньшей мере 5 метеоров, и для 8 радиантов, находящихся на контуре площади радиации. Что касается радиантов внутри площади радиации, то совершенно достаточно определить истинные долготы и широты по видимым прямым восхождениям и склонениям путем простой графической интерполяции с помощью истинных долгот и широт ра-

диантов, вычисленных полностью. Номера этих радиантов с приближенными координатами поставлены в скобки.

Для вычисления истинной элонгации ε' по видимой элонгации ε имеем известную формулу:

$$\sin(\varepsilon' - \varepsilon) = D \sin \varepsilon.$$

Коэффициент D вычислен для скорости метеоров, соответствующей их времени обращения, равному 13 годам; его величина $D = 0.7460$.

Обозначая через l и b видимые долготы и широты и через l' и b' — истинные координаты, получим следующую таблицу:

I

	l	b	ε	ε'	l'	b'
(1)					355°5	11°
(2)					356.5	17
3	41°5	35°0	109°9	154°5	356.8	15.5
4	40.8	32.9	111.1	155.2	356.8	14.1
5	39.3	29.5	113.4	156.6	356.4	12.3
6	40.6	31.6	111.6	155.5	356.8	13.5
(7)					357	10.5
(8)					357	11
(9)					358	17.5
10	41.9	32.0	110.4	154.8	357.4	14.0
11	44.0	35.5	107.9	153.1	358.0	16.0
(12)					358.5	19
(13)					358	11
14	49.1	42.1	102.6	149.3	359.5	20.5
15	43.3	29.5	109.8	154.4	358.4	13.1
(16)					359.5	18
17	51.7	41.0	100.9	148.0	1.7	20.7
18	53.6	35.1	100.3	147.6	3.2	18.3

II

	l	b	ε	ε'	l'	b'
(1)					352.5	9.5
(2)					356.5	13.5
3	41.8	110.7	110.7	155.0	357.5	13.5
4	43.5	31.8	109.2	154.0	358.3	14.2
5	40.3	23.6	113.6	156.7	357.4	10.0
6	42.7	28.1	110.6	154.9	358.2	12.3
(7)					357.5	10.5
(8)					359	14.5

III

	l	b	ε	ε'	l'	b'
1	33°4	42°9	113°4	156°6	352°4	17°1
2	27.5	28.2	123.5	162.0	351.2	10.1
(3)					353.5	16
4	35.1	35.8	114.5	157.3	353.7	14.4
(5)					354.5	14
(6)					356	13.5
(7)					356.5	15
8	41.0	30.0	111.6	155.6	357.1	12.8
9	37.0	19.0	117.4	158.9	355.9	7.8
10	41.4	28.1	111.7	155.6	357.6	12.1
(11)					358.5	15
(12)					359.5	14.5
(13)					0	17.5
(14)					2	16
15	54.9	32.2	99.5	146.9	5.0	17.2

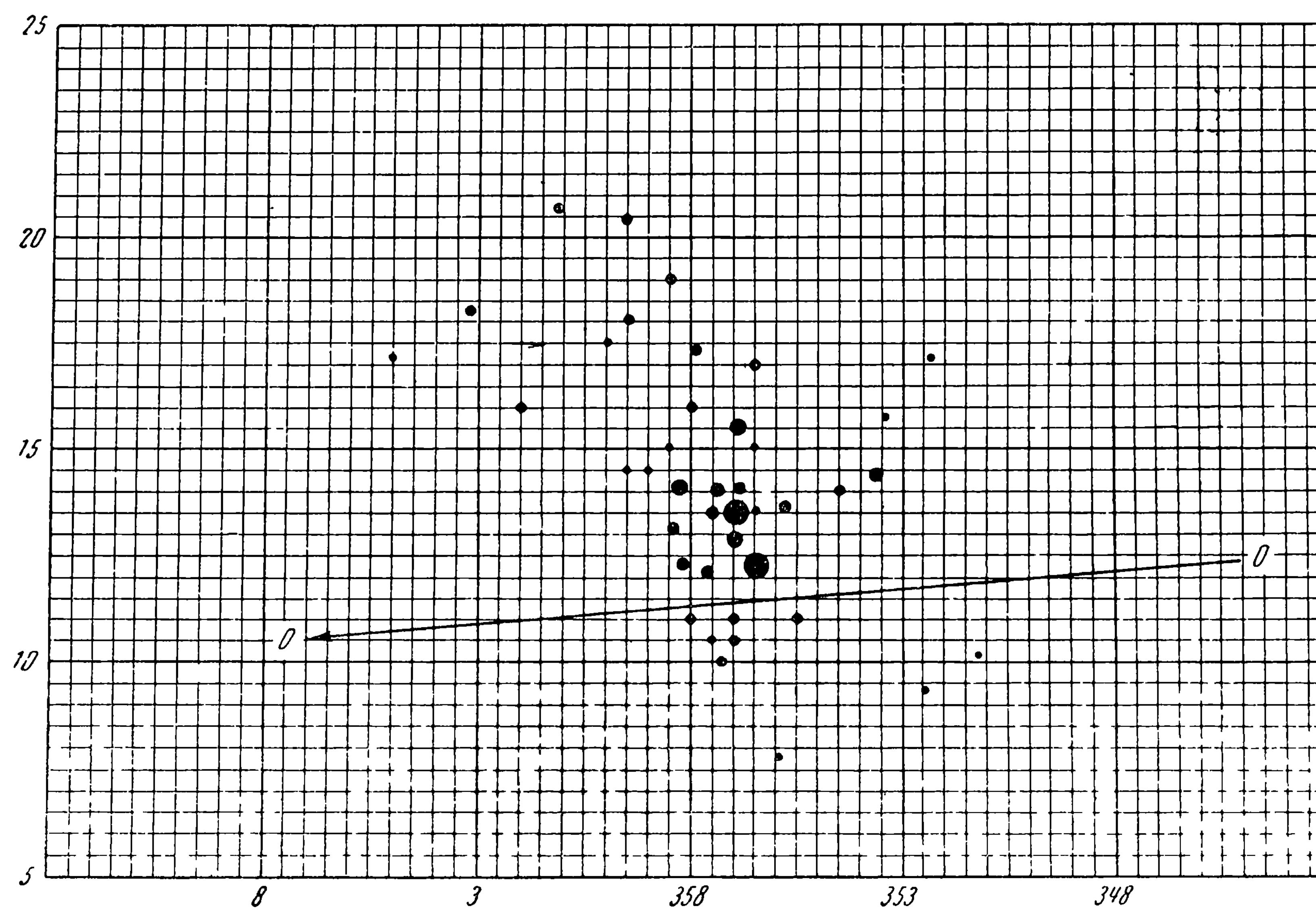


Рис. 7

Эти координаты были нанесены на прилагаемую карту (рис. 7), где диаметры черных кружков пропорциональны весам радиантов. Линия *OO* изображает положение орбиты кометы Биела для 1859 г.

2

Элементы кометы, вычисленные Сантини для 1859 г., включая поправки, относящиеся к возмущениям от Юпитера (Astr. Nachr., L, p. 123), таковы:

$$T = 1859, \text{ мая } 23.3769 \text{ ср. гринич. вр.}$$
$$\pi = 109°33'.71$$
$$\Omega = 245\ 44.55$$
$$i = 12\ 23'.71$$
$$\varphi = 48\ 53.91$$
$$\lg e = 9.877110$$
$$\lg a = 0.549467$$
$$n = 531''.8704$$

Приведя долготу узла к эпохе 1873.0, мы будем иметь $\Omega = 245°56'$. Мы видели выше, что для средины наблюдений, то есть для 27 ноября, $8^h.7$ ср. гринич. вр., долгота Солнца 245°59'; итак, эта средина почти совпадает с временем прохождения Земли через нисходящий узел кометной орбиты. Истинная аномалия радиуса-вектора, совпадающего с линией узлов, $v = -43°49'9''.6$ и $\beta = 108°45'26''$ (угол касательной с радиусом-вектором). Для самого радиуса-вектора мы имеем $\lg r = 6.996556$, а для радиуса-вектора Земли $\lg R = 9.9939490$; откуда

$$r = 0.992101, \qquad R = 0.986164.$$

$r > R$, $r - R = 0.006$, то есть Земля проходит через плоскость кометной орбиты внутри этой орбиты и центральная часть конуса истечения, встречающая Землю, не соответствует данной выше, но несколько большей отрицательной аномалии, приблизительно $-50°$ (см. мою записку об интересных свойствах метеорных потоков).

Нет надобности строго вычислять эту аномалию, хотя это вычисление очень просто.

Для видимого центра радиации мы имеем:

$$\alpha = 27^\circ\!.6, \qquad \delta = 43^\circ\!.5;$$

откуда получим эклиптикальные координаты истинного центра:

$$l' = 356^\circ\!.8, \qquad b' = 13^\circ\!.5.$$

С этими величинами, с помощью угла L, находим углы θ и s и, наконец, наклонение плоскости, содержащей этот центр, по отношению к эклиптике; это наклонение $i = 14^\circ\!.4$ превосходит немного наклонение кометной орбиты, составляющее $12^\circ\!.4$. Вычисляя наклонение для другого радианта с весом 16, координаты которого

$$l' = 356^\circ\!.4, \qquad b' = 12^\circ\!.3,$$

получаем:

$$i = 13^\circ\!.1,$$

что лучше согласуется с наклонением кометной орбиты. Эти результаты приводят нас к предположению, что ось конуса истечения была немного отклонена от плоскости орбиты к югу во время образования потока.

Наибольший диаметр всей площади радиации почти перпендикулярен к плоскости орбиты и обнимает 14°; поперечный диаметр равен только 10°. На краях площади радиации замечаются только разбросанные слабые радианты; допуская очень умеренную погрешность в направлении метеоров, именно в 1°, мы должны заключить, что диаметр этот ошибочен по крайней мере на 6°. Таким образом, наибольший диаметр $2x$, вероятно, обнимает только 8°.

По формуле

$$\sin x = j \sin J : H_1,$$

при $j = 0.10$, $\lg H_1 = 0.1310$ и $x = 4°$, получим $J = 60°$.

Для более густой части площади радиации наибольший диаметр, перпендикулярный к плоскости орбиты, не более 5°; откуда $x = 2^\circ\!.5$, $J = 32°$.

Наконец, для осевой части, состоящей из самых сильных радиантов, $x = 1^\circ\!.1$; откуда $J = 14°$.

Наклонение кометной орбиты к эклиптике равно $12^\circ\!.4$; крайние метеорные орбиты составляют угол в 4° с кометной орбитой; и если аномалия в момент истечения была равна 52°, то эти крайние орбиты охватывают 5° земной орбиты: 2° до узла и 3° после узла. Мы видим, таким образом, что слабое появление метеоров может начинаться 25 ноября и оканчиваться ноября 30. Вероятно также, притяжение метеоров Землей играет роль в удлинении явления во времени; быть может, здесь присоединяется к ньютоновскому притяжению другой деятель, действие которого проявляется тут и там во Вселенной. Эта длительность, очевидно, должна зависеть также от минимального расстояния Земли до орбиты в данную эпоху.

В 1867 г. Цециоли наблюдал 30 ноября небольшое число метеоров потока кометы Биела, которые были использованы Скиапарелли для сравнения их орбиты с орбитой кометы. Год 1867 предшествует эпохе 1872 г.; это нам показывает, что в потоке были частицы с временами обращения на 5 лет короче времени обращения массы, преобладавшей в появлении 1872 г. При этих соображениях не нужно упускать из виду те метеоры, которые были выброшены со скоростью j, немного меньшей или немного большей, чем j, главное значение которого приблизительно равно 0.1, а также различие углов J.

Не лишним будет привести здесь табличку времен обращения, соответствующих различным j для $J = 0$ и для орбитальной скорости H кометы в ее нисходящем узле. Скорость метеоров обозначим H_1.

$$H^2 = \frac{2}{r} - \frac{1}{a} = 1.733739.$$

i	H_1^2	T (лет)
0.03	1.76004	7.7
0.04	1.76921	8.2
0.08	1.80788	10.9
0.10	1.82842	12.3
0.15	1.88326	20.7
0.20	1.94310	50.9

В радиантах, соседних с узлом, как, например, 30 ноября, могут, кроме того, принимать участие метеоры, узлы и наклонения которых были изменены таким образом, что они могли войти в упомянутые радианты.

Наконец, при малой величине наклонений некоторые части пучков метеорных орбит, имеющие вершинами точки кометной орбиты слева и справа от узла, могли вследствие возмущений, как мы уже сказали, подняться или опуститься относительно эклиптики и произвести таким образом новые узлы, появление которых продолжит длительность явления.

Здесь трудно входить в количественные подробности, тем более что наблюдения не представляют еще достаточно прочного основания для подобного исследования, однако нельзя отрицать возможности этих действий.

Чем периодичность потока длительнее, тем больше должны быть изменения в площади радиации и во временах узлов.

Все известные обстоятельства показывают, что поток 27 ноября является новым образованием, максимум блеска которого вовсе не отмечается в астрономических анналах до 1872 г., меж тем как падающие звезды начали наблюдать уже с тридцатых годов. Невероятно, чтобы блестящие явления 27 ноября оставались незамеченными и астрономами и любителями. В статье Геррика (Report on the shooting stars of December 7, 1838 etc. Connecticut Academy of arts and sciences) уже встречается понятие о радианте и много верных замечаний о главных свойствах явления.

Если явление в 1872 г. было первым для 27 ноября и если оно повторяется через 13 лет (1885), мы имеем право допустить, по нашей теории, что оно получило начало в 1859 г. в той части кометной орбиты, в которой находится нисходящий узел. Скрытая в солнечных лучах, комета не могла быть видима в этом году. По соседству с узлом нужно допустить непрерывный ряд истечений, ставших источником потока.

В 1859 г. комета прошла через плоскость земной орбиты, по элементам Сантини, января 29.7585 ср. гринич. вр., то есть в момент $t = 1859.0759$.

Земля прошла через плоскость кометной орбиты ноября 27.3625; в этот момент

$$t' = 1859.9045,$$

откуда

$$t' - t = 0.8286$$

в долях года.

Таким образом, для метеоров с сечением конуса, перпендикулярным к плоскости орбиты, и с одними и теми же временами обращения T, в 1872 г., 27 ноября, это T было 13.8286.

В 1885 г. Земля встретила в узле метеоры другого сечения, соседнего с предыдущим, с временами T', для которых мы имеем:

$$2T' = 26.8286, \text{ или } T' = 13.4143.$$

Для 1898 г.

$$T'' = 13.2762$$

и т. д.

Вообще

$$nT = m\ (\text{лет}) + (t' - t);$$

для m 13 и

$$n = 2, \qquad T_1 = 6.91$$
$$n = 3, \qquad T_2 = 4.61$$
$$n = 4, \qquad T_3 = 3.46\ldots$$

Частицы с временами обращения довольно короткими, зависящими от J или от j, могут входить в площадь радиации в эпоху или быть с ней по соседству, если их встреча с Землей указана элементами их орбит.

Почти излишне прибавлять, что падающие звезды, наблюдаемые в небольшом числе в промежутках между эпохами, соответствуют для одной и той же скорости j различным величинам угла J, обусловливающим необходимые времена обращения:

Для 30 ноября 1867 г. $T = 8.4$
Для 25 » 1877 г. $T = 18.82$ или 9.41.

Умеренные появления Андромедид могут согласно теории происходить каждый год, и, за исключением двух упомянутых примеров, легко найти много других упоминаний по поводу этих, более или менее слабых, годичных появлений между эпохами максимума.

Так, Денца (Le stelle cadenti, 1887) насчитал несколько падающих звезд радианта Андромеды 27 ноября 1886 г. В 1887 г., несмотря на плохую погоду, снова видели несколько Андромедид; в 1888 г. в Пресбурге было их зарисовано четыре (Конколи, 1890).

Слабость явлений между эпохами служит, конечно, причиной того, почему им не посвящают особого внимания; сверх того, по кольцевой теории метеоры кометы Биела должны находиться только в частях кольца, близких к ядру.

На рис. 7 легко замечается продолговатость площади радиации, а также что наибольший диаметр фигуры перпендикулярен к плоскости орбиты. Сечения конуса истечения, частицы которого имеют одно и то же время обращения, перпендикулярны к орбите; эти сечения для $J = 0$ играют главную роль. Их последовательное наложение с течением времени придает всей фигуре площади радиации продолговатую форму.

Кажется, надлежало бы ожидать известной правильности в последовательном появлении радиантов в направлении наи-

большего протяжения площади радиации, начиная (в рассматриваемом потоке) сверху, иначе говоря, с севера. Но ошибки наблюдений смешивают времена, скрывая таким образом порядок в образовании радиантов. Чтобы выяснить вопрос, предположим, что мы имеем четыре истинных радианта: *A*, *B*, *C*, *D*, образовавшихся через час один за другим и распределенных по дуге в 3°, со взаимным расстоянием, равным 1°. Однако ошибки наблюдений, так сказать, переносят метеоры, образующие радиант *A*, на радианты *B*, *C* и *D* и наоборот. В радианте *A* мы должны найти времена радиантов *B*, *C* и *D* и т. д.

Геометрическая чистота явления затушевывается, конечно, ошибками наблюдений. Чтобы несколько раскрыть ее, нужно воспользоваться наблюдениями, обнимающими несколько дней. В 1885 г., кроме наблюдений 27 ноября, имеем радианты, указанные Деннингом для 26, 28 и 30 ноября (Monthly Notices, May 1890); к ним можно прибавить еще его радиант для 25 ноября 1877 г. Не приписывая особенной точности этим радиантам, можно использовать их для того, чтобы показать, как действительно наклонения плоскостей, содержащих эти радианты, немного уменьшались изо дня в день. Это свидетельствует, качественно по крайней мере, о том, что Земля встречает последовательно орбиты метеоров, не параллельные, а образующие пучок, *расходящийся* к перигелию, что согласно с теорией [64].

Если поток 1872 г. был действительно порожден в 1859 г., то его существование еще очень кратковременно, и, несмотря на малую величину наклонений,— так как в эту эпоху действие Юпитера было слабым,— планетные возмущения не могли произвести никакого заметного влияния ни на форму площади радиации, ни на длительность явления.

Теоретическая простота явления скорее нарушается присутствием частиц с величинами *j*, бóльшими и меньшими его обычного значения. Несомненно, для времени, гораздо более отдаленного, можно ожидать увеличения площади радиации, очевидного рассеяния радиантов, гораздо более длительной

продолжительности явления и полного исчезновения максимумов в пользу ежегодных появлений. Малые наклонения, прямое движение и времена обращения способствуют этим следствиям планетных действий.

3

Перейдем к появлению в 1885 г.

Проф. Ньютон (American Journal of science, June 1886. The Biela meteors on november 27-th, 1885) собрал значительное число положений суммарного радианта, наблюденных в разных местах Земли (стр. 414—416); число это равно 90. Ньютон нанес на карту около 80 из них (стр. 417); из этой карты, а также по другим радиантам, видно, что радианты разбросаны на площади более 9° по склонению и около 15° по прямому восхождению. Суммарные радианты, находящиеся на краях этой площади, еще увеличивают ее протяжение, ибо они окружены, как мы знаем, другими радиантами. Многие наблюдения очевидно очень плохи; вторичные пересечения были здесь явным образом приняты за независимые точки схождения и т. д. Во всяком случае площадь радиации довольно значительна.

Ньютон прибавляет, что он не имел намерения вывести наилучший радиант, но хотел показать только, что радиант не точка и даже не малая площадь. Принимая во внимание ошибки наблюдений, зенитного притяжения и суточной аберрации, нужно понизить диаметр площади до 7—8°. Деннинг прямо говорит об этом (Monthly Notices of the R. A. S., XLVI, p. 69): «Площадь радиации должна быть полных 7° в диаметре, чтобы соответствовать различиям в полетах»[65]. Некоторые другие наблюдения позволяют допустить, что площадь радиации в 1885 г. была равна площади в 1872 г.

Чтобы получить центральный радиант из всех собранных Ньютоном, нам остается взять арифметическое среднее всех их Таким образом получаем:

$$\alpha = 23^\circ\!.9, \qquad \delta = +43^\circ\!.9.$$

Время наблюдения при большей части радиантов не обозначено, но без чувствительной погрешности можно удовольствоваться 8^h ср. гринич. вр. Исправляя наш радиант от притяжения зенита и от суточной аберрации, получаем:

$$\alpha = 22^\circ, \qquad \delta = +45^\circ;$$

откуда

$$l = 38^\circ.7, \qquad b = 32^\circ.9.$$

Долгота апекса $L = 156^\circ.3$. Принимая $D = 0.7460$, находим:

$$\varepsilon = 113^\circ.0, \qquad \varepsilon' = 156^\circ.3.$$

Далее

$$l' = 355^\circ.8, \qquad b' = 13^\circ.7,$$

и, наконец,

$$i = 14^\circ.5.$$

Эта величина i почти одинакова с той, которую мы нашли для 1872 г.; ее сравнение с i для кометы приводит нас к тому же выводу, что конус истечения был немного отклонен к югу около узла. Вычислим теперь величины i для четырех радиантов, упомянутых выше: для 25 ноября 1867 г., 26, 28 и 30 ноября 1885 г. (первый из них относится скорее к 26, так как он получен из наблюдений от 25 и 27). Время наблюдения мы будем считать 12^h ср. гринич. вр. Эти радианты таковы:

Ноября	25	26	28	30
	24°, +45°	26°, +44°	22°, +43°.5	21°, +42°.8
Вес	9	60	55	10
α	154°25′	155°21′	157°.20′	159°.19′
l	39.2	40.2	36.9	35.6
b	33.8	32.3	33.1	32.5
ε	69.3	68.9	64.9	62.0
ε'	155.0	155.2	157.6	159.2
l'	355.0	356.1	355.5	356.1
b'	14.6	13.9	13.3	12.5
i	15.5	14.8	14.0	13.0
☊	63.9	64.8	66.8	68.8

Мы видели, что для 27 ноября $i = 14^\circ.5$. Не претендуя на особенную точность, можем допустить факт постепенного убывания угла i, о чем мы уже говорили; это показывает, что Земля встречает пучки с бо́льшим наклонением в начале явления, но не в конце.

Различие за 5 (скорее за 4) дней достигает до $2^\circ.5$. Согласно теории оно должно было быть больше, но повторим здесь еще раз, что было бы смешно ожидать от подобных наблюдений геометрической чистоты в построении.

Мы говорили, что поток 27 ноября 1872 г. был явлением совершенно новым; было, однако же, время, когда схожий поток, хотя гораздо более слабый, имел место при несколько ином положении Земли, именно 7 декабря, при другом положении плоскости орбиты кометы Биела, и радиант его отмечался в несколько ином месте неба. Мы видели выше, каковы элементы этой кометы вообще и каковы ее наклонение и ее узел в частности. Однако эти величины стали такими после сильных возмущений, вызванных Юпитером в 1794, 1831 и 1841—1842 гг.

Числа, характеризующие эти изменения элементов, даны, между прочим, Ньютоном в указанном выше месте (стр. 423—424). Приведенные к равноденствию 1885.0, они таковы:

	☊	i		☊	i
1772	258°.7	17°.1	1846	246°.5	12°.6
1806	252.4	13.6	1852	246.3	12.6
1826	251.2	13.6	1859	246.1	12.4
1833	249.0	13.2	1886	246.0	12.4

Посмотрим, какие потоки были видимы в эпохи, соответствующие этим узлам кометы.

1. Бенценберг в 1798 г., 7 декабря, наблюдал много падающих звезд; до 10^h вечера он насчитал их 400; позже явление сделалось слабее, и до утра он прибавил к счету еще 80. Мог он видеть только часть неба, и замечает, что на его горизонте можно было бы насчитать несколько тысяч. Он не обозначает

радианта, но говорит, что звезды видимы были одинаково повсюду; из этого можно заключить, что радиант находился около зенита.

2. Геррик в 1838 г., 7 декабря, с одним ассистентом насчитал 93 звезды за один час; они выходили «из места недалеко от Кассиопеи или, пожалуй точнее, из соседства со скоплением в мече Персея (там же, стр. 364). Однако радиант не мог быть хорошо отмечен; только с точностью до трех или четырех градусов. После полуночи, в ночь с 6-го на 7-е, метеоры, казалось, не представляли никакого общего центра радиации»[66]. Этот радиант имеет приближенные координаты: $\alpha = 24°$, $\delta = +61°$ (среднее из двух положений).

То же положение можно принять и для радианта Брандеса. Это — самые богатые появления в первой трети декабря. Конечно, они очень слабы сравнительно с потоками 27 ноября 1872 г. и 1885 г., когда, как говорит Денца: «на нашей обсерватории в Монкальери мы насчитали за 6 с небольшим часов 33 000 метеоров в 1872 г. и 39 000 в 1885 г.»[67].

Мы видели, что эпохе и площади радиации величественных явлений 1872 и 1885 гг. принадлежат многие слабые радианты промежуточных лет, вероятно каждого года. Подобным образом радианту и эпохе 1838 г. принадлежат некоторые второстепенные потоки.

1. В каталоге Кетле читаем: «Райяр пишет, что он наблюдал необычайное явление падающих звезд в ночь 7 декабря 1830 г.». Радиант не обозначен; вообще в это число количество падающих звезд было значительным, как видно, например, из миланских известий.

2. В 1847 г. проф. Гейс, 8 декабря, насчитал 21 метеор из созвездия Андромеды; 10 декабря их было 22. Метеорам этим он дает радиант 22°, +55°.

3. В «Osservazioni di stelle cadenti» за 1871 и 1872 гг. встречаем по нескольку метеоров для той же эпохи. Повидимому, для эпохи 7 декабря, с соседними днями, существует поток с годичными появлениями, более или менее слабыми.

Вот долготы Солнца λ для только что названных эпох:

1798	декабря	6	$\lambda = 256°$
1830	»	7	$= 256$
1838	»	7	$= 256$
1847	»	9	$= 258$
1871	»	7	$= 256$

Сравнение этих долгот с долготами узла кометы Биела, данными выше, ясно показывает, что потоки эпохи 7 декабря относятся к той орбите, которую комета имела до сильных возмущений от Юпитера в 1794 г., то есть к орбите времени открытия кометы, если не брать в расчет небольшого изменения, произведенного умеренными возмущениями Юпитера.

Проф. Вейс (Beiträge zur Kenntiss der Sternschnuppen, p. 15) вычислил по элементам орбиты положение радиантов для эпох 1772, 1826 и 1852:

	α	δ
1772	19°	+58°
1826	23	+48
1852	23	+43

Наблюденные радианты 1838, 1847 хорошо согласуются с орбитой 1772 г., меж тем как радианты 1872, 1885 относятся к новой орбите.

Итак, мы видим, что орбита кометы значительно изменила свои элементы, но поток, образовавшийся, вероятно, в конце прошлого столетия, существует и теперь; другой поток образовался уже гораздо позже.

Как объяснить теперь это совместное существование двух потоков, происшедших от одной и той же кометы?

По нашей теории это явление дóлжно объяснить тем обстоятельством, что старый поток образовался в другую эпоху и с другими j; густая часть его ($J = 0$) получила время обращения либо $T = 20$ лет, либо $T = 40$ лет, ибо промежуток между ее двумя максимумами 1798 и 1838 равен 40 годам. В первом случае образование имело место около нисходящего узла

в 1778 г. Первое явление было видимо поэтому в 1798 г., третье— в 1838 г., второе же явление в 1818 г. могло пройти незамеченным. В случае $T = 40$ образование потока имело место в 1758 г.

Из таблички, которую мы дали выше для времен обращения, соответствующих различным j, видно, что время обращения в 20 лет соответствует j, равному почти 0.15, в чем нет ничего невероятного; для 40 лет j доходит до 0.18. Невозможно решить, какое время обращения истинное; однако в обоих случаях метеорные орбиты довольно растянуты, и поэтому они избежали близости к Юпитеру в 1794 и 1831 гг., сохранив вообще свои узлы и наклонения. В то же время планетные возмущения векового действия, связанные с этими орбитами с различными и довольно малыми наклонениями, должны были еще более ослабить главный рой и распространить его более равномерным образом на промежуток между эпохами, вплоть до того, пока он не превратится в слабый ежегодный поток.

Проф. Вейс (там же, стр. 16) старается поставить в соотношение Андромедиды с кометой 1818 I, открытой Понсом. Комета эта была наблюдаема лишь очень короткое время (23—27 февраля), а потому элементы ее довольно сомнительны; вот они:

$$\begin{aligned} \pi &= 95^\circ\!.1 \\ \Omega &= 250.1 \\ i &= 20.0 \\ \lg g &= 9.86526 \end{aligned}$$

Движение прямое

Эти элементы, как видно, очень похожи на элементы кометы Биела, и проф. Вейс высказывает такое мнение: «Если приписать комете 1818 время обращения кометы Биела, то два прохождения этой кометы, отстоящие одно от другого на шесть обращений, имеют место в 1798.2 и 1838.2. Не вероятно ли также, что, кроме кометы Биела, по тому же пути движется другая, раньше отделившаяся от нее, комета, с которой связана наиболее густая часть метеорного кольца» [68]. Это предположение не объясняет различия потоков 27 ноября и 7 декабря.

Согласно нашим соображениям комета 1818 не может быть не чем иным, как скоплением, выброшенным кометой Биела в 1778 г. с начальной скоростью j, которая сообщила ему время обращения $T = 20$ или 40 лет [69].

Комета была слабо видима только один раз, в 1818 г., а потом, вероятно, совсем рассыпалась, подобно самой комете Биела.

Возвращаясь к потоку 27 ноября, сделаем еще одно замечание. При образовании потока в 1778 г., некоторые из метеоров могли получить очень малую скорость, отчего их времена обращения мало отличались от времени обращения кометы; поэтому изменения их узлов и наклонений были почти такие же. Если их времена обращения составляют некоторую часть интервалов 1885—1778 или 1872—1778, эти метеоры могли включиться в площадь радиации в ту или иную из этих эпох или оказаться около этой площади. Вероятно также, что некоторые метеоры, сообразно с элементами их орбит, имеют свои радианты в части неба между радиантами потоков 1859 и 1778.

Такая мысль приводит к выводу, что для тщательного изучения потока следует со вниманием наблюдать метеоры до и после главной эпохи. Конечно, очень полезно иметь в виду в высокой степени верное замечание проф. Ньютона (там же, стр. 423):

«Помимо всего прочего, имеется неуверенность из-за того, что каждая точка над горизонтом, лежащая на пути метеора, продолженном назад, может быть его радиантом. Любой радиант, который был определен из малого числа путей, должен быть очень не надежен, а если наблюдения самих путей не были опубликованы, ценность подобного определения для астрономии уменьшается еще более» [70].

1891, май.

[B. P.— Mélanges Math., t. VII; nouv. série, II (XXXIV) 1891]

О РАССЕЯНИИ РАДИАНТОВ

Размеры площади радиации и продолжительность явлений некоторых потоков метеоров представляли значительные затруднения для существовавших до сих пор взглядов на строение метеорных потоков. Например, в Персеидах, где рой ежегодно достаточно обилен, площадь эта охватывает много градусов, и явление тянется около трех недель[1].

Всякая попытка объяснить это интересное обстоятельство, основанная на правдоподобных соображениях, должна считаться уместной и полезной, ибо только таким образом можно надеяться с той или с другой стороны подойти к полному решению вопроса.

1

Мы постараемся объяснить упомянутые выше явления, развивая наши известные соображения о происхождении падающих звезд до тех следствий, которые вытекают из свойств различных орбит, получаемых метеорами при их извержении из тела кометы.

Именно, некоторые пучки этих орбит должны проходить очень близко от орбит больших планет и претерпевать, таким образом, от времени до времени сильные возмущения.

---

[1] Th. Brédikhine. Bulletin de l'Acad. des Sciences de St.-Pét., vol. VII, pp. 136—143.

Вопрос, следовательно, сводится к тому, могут ли подобные возмущения быть причиной указанного рассеяния метеорных радиантов.

Орбита производящей кометы имеет такие размеры и такое положение, что возмущения планет на нее можно считать незначительными.

Элементы орбиты кометы 1862 III (при обозначении Гаусса):

$$\begin{aligned} \pi &= 290°36'.4 \\ \Omega &= 137\ 50.9 \\ \omega &= 152\ 45.5 \\ i &= 113\ 34.4 \\ \lg a &= 1.38977 \\ \lg e &= 9.98261 \\ \lg q &= 9.98350 \end{aligned}$$

Расстояние от перигелия до нисходящего узла равно 27°14'.5. В этом узле $\lg r = 0.00774$; угол радиуса-вектора с касательной составляет 75°39'.2; в узле восходящем $\lg r = 1.11222$, $r = 12.949$; в афелии $r = 48.106$.

Для радиуса-вектора Земли в нисходящем узле $\lg R = 0.00575$, то есть он меньше радиуса-вектора кометы; но мы знаем[1], что орбиты метеора пересекают орбиту кометы в виде щетки (рис. 4), через которую проходит Земля на некотором расстоянии от самого пути кометы.

Для больших планет имеем:

Для Юпитера	$a =$ 5.20,	$\mu = 4'.99$
Для Сатурна	$=$ 9.54	$= 2.01$
Для Урана	$=$ 19.18	$= 0.71$
Для Нептуна	$=$ 30.06	$= 0.36$

где μ — среднее суточное движение в минутах дуги. С помощью наших данных можно для наглядности построить орбиты кометы

[1] Th. Brédikhine. Sur les propriétés importantes des courants météoriques. Bulletin de la Société des Natur. de Moscou, 1889, № 4, pp 13—15.

в сопоставлении ее с размещением орбит больших планет (рис. 8), где большие планеты обозначены по порядку буквами J, S, U, N. Ближайшее расстояние кометы от Юпитера при обратном движении и большом наклонении — около 2, от Сатурна — около 1, от Урана — около 2.5.

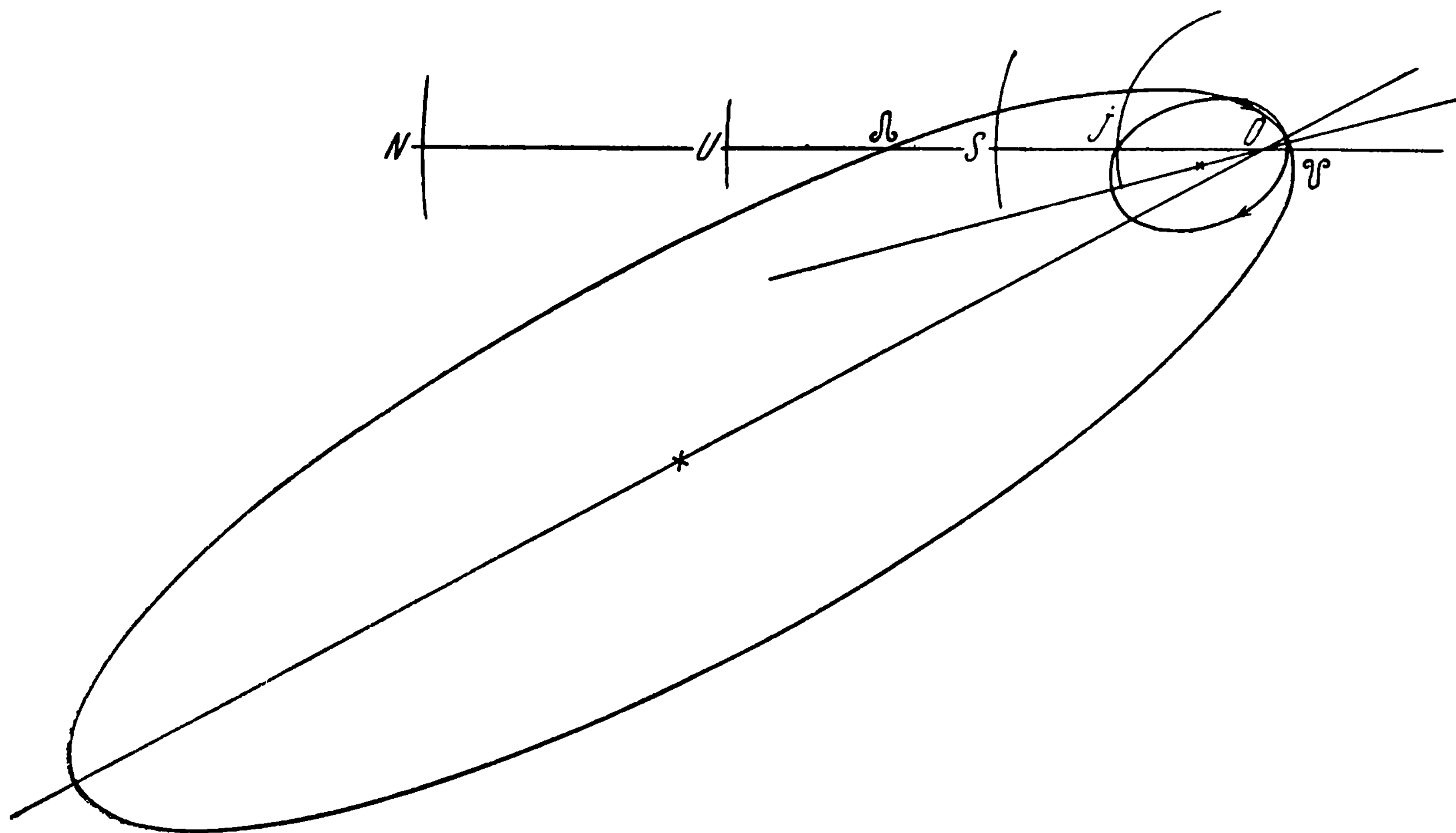


Рис. 8

Посмотрим теперь, каковы будут положения и размеры орбит, происходящих от одного из истечений в узле нисходящем, при котором метеоры были выброшены под разными углами J с радиусом-вектором. Пускай начальная скорость будет $j=0.2$. Эта — та скорость, которая найдена для хвоста I типа кометы 1862 III. Некоторое изменение j не изменит сущности дела. Ограничимся для простоты только одной этой величиной j и истечениями только в плоскости кометной орбиты.

Приближаясь более к истине, другими словами, принимая, что истечение происходит в целом конусе, можно будет обобщить соображения.

Производя вычисления, по нашим простым формулам[1], элементов производных орбит, получим следующую таблицу (J положительно позади радиуса-вектора и отрицательно впереди его):

$j = 0.2$

	J	lg a	a	T	lg e
1	+45°.0	0.32505	2.113	3.073	—
2	30.0	0.41846	2.621	4.243	9.79137
3	25.0	0.46219	2.899	4.935	9.81564
4	22.0	0.49250	3.108	5.480	9.83057
(5)	20.0	0.51470	3.271	5.916	9.84069
6	15.0	0.57815	3.786	7.366	9.86576
7	10.0	0.65633	4.532	9.660	9.89078
8	5.6	0.74259	5.528	13.000	9.91251
(9)	+ 5.0	0.75610	5.703	13.619	9.91547
10	—	0.75744	—	—	—
11	0.0	0.88981	7.759	21.613	9.93948
12	— 4.0	1.04150	11.003	36.500	9.95819
(13)	4.5	1.06355	11.576	39.380	9.96037
14	—	1.07374	—	—	—
15	5.0	1.09002	12.303	43.155	9.96281
16	6.0	1.14442	13.954	52.075	9.96736
17	8.0	1.28020	19.064	83.234	9.97637
(18)	8.2	1.29635	19.786	88.010	9.97725
19	—	1.31667	—	—	—
20	— 9.0	1.36825	23.350	112.800	9.98080

	lg q	lg r	180°—ω	γ	μ
1	—	—	—	4°55'.8	—
2	9.99991	0.59582	17°35'.7	6 38.2	—
3	0.00115	0.65057	15 51.6	7 4.8	—
4	0.00175	0.68723	14 57.5	7 18.7	—
(5)	0.00198	0.71280	14 36.2	7 27.2	10'.00
6	0.00284	0.78655	13 13.3	9 45.4	—
7	0.00341	0.87293	12 14.9	7 59.5	—
8	0.00376	0.96417	11 34.8	8 8.5	—

[1] Th. Brédikhine. Sur l'origine des étoiles filantes. Bulletin de la Société des Natur. de Moscou, 1889, № 1.

	$\lg q$	$\lg r$	$180° - \omega$	γ	μ
(9)	0.00379	0.97816	11°30′.0	8° 9′.5	—
10	—	0.97955	—	—	4.33
11	0.00404	1.11163	10 57.8	8 15.5	—
12	0.00419	1.25404	10 37.5	8 17.3	—
(13)	0.00419	1.27369	10 37.0	8 17.4	—
14	—	1.28285	—	—	1.45
15	0.00420	1.29748	10 33.7	8 17.4	—
16	0.00422	1.34520	10 29.3	8 17.4	—
17	0.00424	1.45689	10 26.8	8 16.7	—
(18)	0.00425	1.47004	10 25.0	8 16.7	—
19	—	1.48572	—	—	0.63
20	0.00425	1.52553	10 23.0	8 16.2	—

Здесь T обозначает время обращения метеора в годах, r — величину его радиуса-вектора в восходящем узле; $180° - \omega$ — расстояние от перигелия метеора до нисходящего узла, где происходит встреча с Землею; наконец, γ есть $\beta' - \beta$, где β — угол радиуса-вектора с касательной к кометной орбите в этом нисходящем узле, а β' — угол касательной к орбите метеора с тем же радиусом-вектором.

По номерам в скобках: 5, 9, 13, 18 видно, как близко метеорные орбиты, соответствующие данным углам J, проходят от орбит больших планет.

Для номеров 10, 14 и 19 можно интерполировать те величины J, которые дадут r точно равным расстоянию Сатурна, Урана и Нептуна от Солнца. Для Юпитера можно просто оставить $J = +20°$, ибо величина $\lg r = 0.71280$ соответствует одному из возможных положений Юпитера, чего для наших вычислений, не связанных известными моментами времени, совершенно достаточно.

Орбита метеора 5 нанесена на рис. 8, где представлена малым эллипсом.

Здесь необходимо вновь поставить на вид и подчеркнуть глубокое различие между Персеидами, с одной стороны, и Леонидами и Андромедидами,— с другой. Простое графическое представление орбит производящих комет в последних двух роях, равно как орбит производных, тотчас покажет, что их

метеоры хотя и могут подвергаться более или менее чувствительным возмущениям больших планет, но для них нет тех условий, при которых Персеиды могут подходить чрезвычайно близко ко всем большим планетам: вот почему рассеяние радиантов тех и других роев представляет такое огромное различие.

Предыдущие элементы метеорных орбит вычислены для истечения в нисходящем узле, то есть при аномалии кометы $v = +27°14'.5$. Однако истечение совершается непрерывно на целой дуге кометной орбиты, и до и после нисходящего ее узла, и при одном и том же $j = 0.2$ легко найдутся для каждой из точек этой дуги несколько иные J, при которых метеорные орбиты будут пересекать орбиты всех больших планет.

Как резкий пример, как крайность, если угодно, возьмем точку кометной орбиты, очень далекую от нисходящего узла, например точку с аномалией $v = +90°$.

$$j = 0.2$$

J	$\lg a$	T	$\lg e$
0°	0.55217	6.73	9.83627
—5	0.59116	7.81	9.84824

$\lg q$	$\lg r$	$180° - \omega$	γ
0.04921	0.68480	27°14ʹ.5	9°24ʹ.4
0.06486	0.74955	23 18.0	9 59.7

Пересекать орбиту Юпитера будут, очевидно, те метеоры, для которых $J = -2°.5$.

2

Таким образом, понятно, что на орбите Юпитера (и других больших планет) и на линии метеорного восходящего узла может скопиться пучок метеорных орбит особого строения[1],

[1] Th. B r é d i k h i n e. Sur les propriétés importantes des courants météoriques. Bulletin de la Société des Natur. de Moscou, 1889. № 4.

с разными i и разными β; этот пучок может подвергаться сильным возмущениям планет.

В вычислении мы ограничимся только теми орбитами, которые при одном истечении вышли из нисходящего узла кометной орбиты.

Сильное действие Юпитера (и других планет) может проявляться только внутри описанной около него сферы известных размеров, так называемой сферы деятельности, радиус которой меняется от планеты к планете. За радиус этой сферы для Юпитера можно принять 0.3. Некоторое преувеличение этого радиуса, конечно, нисколько не вредит делу. Мы остановились случайно на радиусе $\rho = 0.305$, угловая величина которого от Солнца равна $3°23'.3$.

Возмущения элементов метеорной орбиты будут очень различны, смотря по тому, в какой точке сферы действия метеор вступит в эту последнюю, а следовательно, как он пройдет через нее на ближайших своих расстояниях от Юпитера. Мы будем различать четыре характерных случая. Метеор проходит на своем кратчайшем расстоянии: 1) в плоскости эклиптики дальше Юпитера (по отношению к Солнцу); 2) в этой же плоскости, но ближе Юпитера; 3) выше Юпитера (к северу) и с тем же радиусом-вектором в узле; 4) ниже Юпитера. При очень большом наклонении i слова «выше» и «ниже» могут быть заменены словами «впереди» и «позади» или «к востоку» и «к западу»[71].

Рассмотрим сперва такой метеор, который проходит случайно через самый центр Юпитера. Он собственно не имеет для нас значения по существу, ибо упадет на планету, но рассмотрение его движения послужит нам для координирования других случаев прохождения через сферу деятельности.

Обозначим через σ угол дополнения до $90°$ к углу касательной к орбите метеора с линией Солнце — Юпитер; положительным считаем его, когда направление движения составляет острый угол с линией, идущей от Юпитера к Солнцу; отрицательным, когда направление движения составляет острый

угол с продолжением линии, идущей от Солнца к Юпитеру. В нашем случае, как легко видеть, σ всегда положительно. В приближенных вычислениях можно просто взять, вместо σ, дополнение к углу радиуса-вектора с касательной в узле метеора, то есть $\sigma = 90° - \beta$.

На рис. 9 o — центр Юпитера, xo — линия его движения, обозначенного стрелкой; точка b на сфере соответствует направлению линейной скорости v_0 метеора, a — направлению относительной скорости метеора V_0; дуга $bg = \sigma$. Пусть $bc = (v_0, x)$, $bh = (v_0, y)$, $bk = (v_0, z)$; угол $acd = x$; дуга $ac = (V_0, x)$, $ah = (V_0, y)$, $ak = (V_0, z)$; далее: $dc = \alpha$, $tc = \iota$, $ad = \delta$ и угол $kae = \sigma'$.

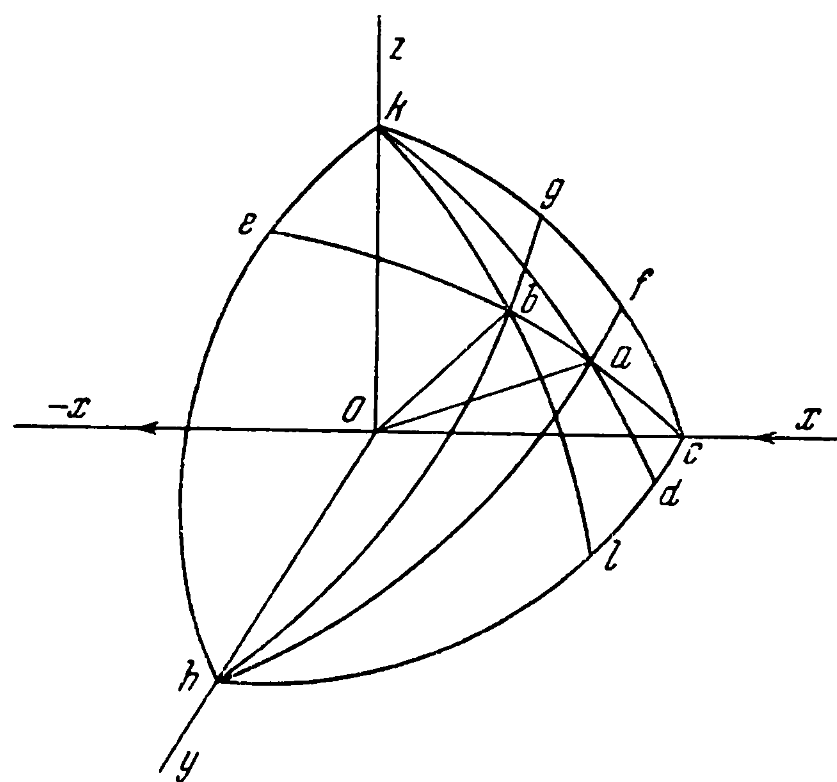


Рис. 9

За наклонение метеорной орбиты к эклиптике в следующих сейчас формулах берется острый угол. При таком обозначении легко получим из треугольников на сфере:

$$\cos(v_0, x) = \cos i \cos \sigma;$$
$$\cos(v_0, y) = \sin \sigma; \qquad (1)$$
$$\cos(v_0, z) = \sin i \cos \sigma.$$

$$V_0^2 = v_1^2 + v_0^2 + 2v_1 v^0 \cos i \cos \sigma. \qquad (2)$$

$$\sin(V_0, x) = v_0 \sin(v_0, x) : V_0. \qquad (3)$$

$$\cos x = \sin \sigma : \sin(v_0, x). \qquad (4)$$

$$\cos(V_0, x) = \cos(V_0, x);$$
$$\cos(V_0, y) = \sin(V_0, x) \cos x; \qquad (5)$$
$$\cos(V_0, z) = \sin(V_0, x) \sin x.$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg}(V_0, x) \cos x; \qquad (6)$$
$$\operatorname{tg} \iota = \operatorname{tg}(V_0, x) \sin x;$$
$$\sin \delta = \sin (V_0, x) \sin x;$$

$$\sin \sigma' = \sin \alpha : \sin (V_0, x); \qquad (7)$$

$$\sin (ke) = \sin \sigma : \sin (v_0, x); \qquad (8)$$
$$ke = 90° - x.$$

За единицу времени в выражении линейной скорости взято 58.133 суток; вместо наклонения i к эклиптике можно просто взять наклонение орбиты метеора к орбите Юпитера, то есть 67°.5 [72].

По элементам метеора 5, где $J = +20°$, получим в восходящем его узле истинную аномалию $v = 194°36'.2$ при $\lg r = 0.71280$; угол радиуса-вектора с касательной тут $\beta = 62°3'.8$ и $\sigma = +27°.56'.2$; для относительной скорости в одни сутки $\lg V_0 = 8.01408$. Далее получаем:

$\lg v_1 = 9.64360$	$x = 60°8'.7$
$\lg v_0 = 9.45627$	$\alpha = 14\ 1$
$\lg V_0 = 9.77850$	$\iota = 23\ 30$
$(V_0,\ x) = 26°37'$	$\delta = 22\ 52$
$(V_0,\ y) = 77\ \ 7$	$\sigma' = 32\ 42$
$(V_0,\ z) = 67\ \ 8$	$(k,\ e) = 29\ 51$

Точка сферы, диаметрально противоположная b, будет соответствовать вступлению метеора в сферу действия Юпитера, и сферические координаты этого вступления будут в антинормальном (по отношению к рис. 9) угле; угол δ будем считать там положительным под эклиптикой, α — положительным в сторону от $-x$ к $-y$, как это видно на рис. 10. На чертеже этой точкой вступления будет A; $Ad' = \delta$, $c'd' = \alpha$, $kAe = \sigma'$.

Если направление относительной скорости проходит не через центр Юпитера, а на расстоянии Δ' от него, так, что $\Delta' = \rho \sin \varphi$, притом ниже эклиптики, то ϕ будет угловым расстоянием на сфере от точки A до точки q (рис. 10); $\phi = Aq$.

Угол φ будем считать положительным вниз от A и отрицательным вверх от этой точки[73].

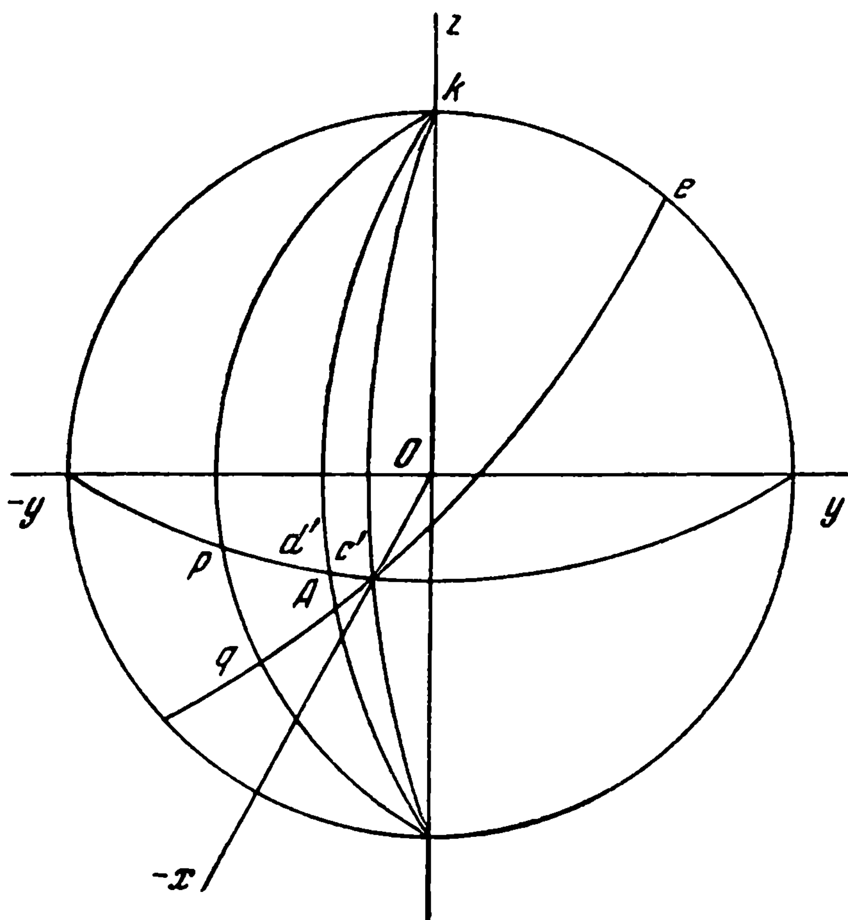


Рис. 10.

Пусть будет $pq = \nu$; из треугольника $kpq\ A$, где угол при A равен $180°—\sigma$, получаем:

$$\sin\nu = \sin\delta\cos\varphi + \cos\delta\sin\varphi\cos\sigma'. \qquad (9)$$

Если метеор пройдет на таком же расстоянии Δ', но над центром Юпитера, то угол φ будем брать отрицательным, и тогда

$$\sin\nu = \sin\delta\cos\varphi - \cos\delta\sin\varphi\cos\sigma'. \qquad (10)$$

Обозначая $d'p$ через α', получаем:

$$\sin\alpha' = \sin\varphi\sin\sigma' : \cos\nu; \qquad (11)$$

α' считается положительным влево от точки d' на нашем чертеже.

При вступлении метеора в сферу деятельности Юпитера угловое расстояние этого последнего от узла будет какое-нибудь J_0 (видимое с Солнца), и легко получаем с достаточным приближением:

$$\sin J_0 = -\sin\rho\cos\nu\cos(\alpha + \alpha') + \sin\rho\sin\nu\operatorname{ctg} i, \qquad (12)$$

где ρ выражено в угловой величине и i считается острым [74].

Угол J_0 отрицателен до прохождения Юпитера через узел метеора; этот последний при его вступлении в сферу действия имеет угловое расстояние (рассматриваемое с Солнца) M_0; мы получаем:

$$\sin M_0 = -\sin\rho\sin\nu : \sin i. \qquad (13)$$

Когда наименьшее расстояние Δ' Юпитера от метеора положим равным 0.15 например, то $\varphi = 29^\circ 27'.5$; если наименьшее расстояние Δ' будет 0.08, то $\varphi = 15^\circ 12'.3$.

Рис. 11

Выведем теперь формулы для того случая, когда метеор с достаточным радиусом-вектором проходит через ось yy дальше или ближе Юпитера относительно Солнца.

Рис. 11 показывает нашу систему координат с известной уже точкой A. Через нее и через ось yy проведем круг $o'Ao$. В плоскости этого круга будут лежать относительные скорости метеоров, проходящих через ось yy. Рассмотрим два из них: один проходит ближе к Солнцу, чем Юпитер, на наименьшем расстоянии $\Delta' = 0.15$, а другой — на таком же расстоянии дальше от Юпитера.

Для первого отложим дугу Ah (рис. 11), равную φ, вправо от A, для второго — влево. Круг $od'o'$ будет эклиптикой. В треугольниках $d'Ao$ и fho, прямоугольных при d' и f, пусть

$d'f = P$; $fo = n$; угол $foh = \theta$; $ho = m$; $fh = \nu$; $d'A$ есть δ, $c'd'$ есть α и $Aq = \varepsilon$. Из этих треугольников непосредственно получим:

$$\operatorname{tg}\theta = \operatorname{tg}\delta : \cos\alpha; \tag{14}$$

$$\sin(\phi + m) = \sin\delta : \sin\theta; \tag{15}$$

$$\sin\nu = \sin m \sin\theta; \tag{16}$$

$$\operatorname{tg} n = \operatorname{tg} m \cos\theta; \tag{17}$$

$$P = 90^\circ + \alpha - n; \tag{18}$$

$$\sin\varepsilon = \cos\delta \sin\alpha. \tag{19}$$

Находясь на кратчайшем расстоянии от Юпитера Δ', метеор пройдет по оси yy собственно на расстоянии $\Delta' : \cos\varepsilon$, стало быть, для него $r = r' - \Delta' : \sin\varepsilon$, где r' — радиус-вектор Юпитера; всегда можно положить $\cos\varepsilon = 1$.

Для положения Юпитера и метеора в момент вступления в сферу действия будем иметь с достаточной точностью[75]:

$$\sin J_0 = -\sin\rho\cos\nu\cos(P - \alpha) + \sin\rho\sin\nu\operatorname{ctg} i. \tag{20}$$

$$\sin M_0 = -\sin\rho\sin\nu : \sin i. \tag{21}$$

Для метеора, проходящего дальше Юпитера, из треугольника $d'Ao'$ получаем: $f'h' = \nu$, $f'o' = n'$, $h'o' = m'$, $Ah' = \phi$, $d'f' = P'$. Отсюда мы найдем формулы, подобные предыдущим, за тем исключением, что здесь $P' = 90^\circ - \alpha - \nu'$ и вместо $P - \alpha$ нужно брать $P' + \alpha$. На оси yy будем иметь для этого метеора $r = r' + \Delta' : \cos\varepsilon$.

Очевидно, что формулы останутся теми же самыми для обоих случаев, когда вместо приведенного φ будет введено другое, например $\varphi = 15^\circ 12'.3$.

Когда, таким образом, станут известны J_0 и M для вступления, то определится и радиус-вектор, соответствующий M_0, а затем по известным элементам орбиты метеора можно уже определить величины M и r для каждого момента прохождения

через сферу действия; соответствующие положения Юпитера J легко найдутся с помощью суточного движения планеты. Понятно, что при дальнейших вычислениях, результаты которых имеют значение не столько количественное, сколько качественное, могут быть сделаны все упрощения в допустимых пределах неточности.

3

Проходящий через сферу действия метеор употребил бы при данной скорости V_0 59.05 суток на прохождение всего диаметра сферы, равного 0.61.

Имея в виду вычисление специальных возмущений, разделим это время на шесть промежутков, из которых каждый будет $\lambda = 9.84$ суток; для хорды при угле $\phi = 29°27'.5$ число суток будет 51.42 и каждое $\lambda = 8.57$; для хорды при угле $\phi = 15°12'.3$ число суток будет 56.90 и $\lambda = 9.50$ суток. Разделим эти две хорды на шесть частей каждую и для краев и точек деления вычислим $1 : \Delta^3$, где Δ — расстояние между метеором и Юпитером.

Для хорды с интервалом $\lambda = 8.57$ получаем:

$\lg\frac{1}{\Delta^3}$ 1.54710 1.90398 2.27709 2.47176 2.277.09 1.90328 1.54710

Для хорды с интервалом $\lambda = 9.50$ будем иметь:

$\lg\frac{1}{\Delta^3}$ 1.54710 2.02163 2.69280 3.29070 2.69280 2.02163 1.54710

По найденным величинам J_0 и M_0 нужно будет вычислить величины J и M через данные выше промежутки времени λ. Положение Юпитера мы найдем, взяв $\mu' = 4'.99$ и принимая радиус-вектор его постоянным, $\lg r' = 0.71280$.

Для облегчения вычислений можно построить небольшую таблицу истинных аномалий v и радиусов-векторов r, с интервалом в 10 дней, считая время от перигелия. Для метеора, радиус-вектор которого в восходящем узле равен радиусу-вектору Юпитера, среднее суточное движение составит 599".74:

аномалия в восходящем узле $v = 194°37'$. Эта табличка будет:

t (суток)	v	lg r	t (суток)	v	lg r
1353	191°47′	0.72317	1423	195° 6′	0.71073
1363	192 15	0.72154	1433	195 36	0.70866
1373	192 43	0.71990	1443	196 5	0.70659
1383	193 11	0.71826	1453	196 35	0.70434
1393	193 39	0.71644	1463	197 5	0.70208
1403	194 8	0.71462	1473	197 35	0.69982
1413	194 37	0.71280			

Нам понадобятся аномалии в пределах, не превосходящих 3°, считая от узла; их можно будет найти простой интерполяцией.

Для метеора, имеющего в узле r на 0.15 меньше радиуса-вектора Юпитера, получим $\lg a = 0.50358$, $\lg e = 9.83562$, $\lg \mu = 1.01649$, выраженное в минутах дуги. Аномалия в узле $v = 194°47'$. По этим данным мы получаем:

t (суток)	v	lg r
1317.4	192°47′	0.70739
1327.4	193 17	0.70554
1337.4	193 47	0.70369
1347.4	194 17	0.70184
1357.4	194 47	0.69999
1367.4	195 18	0.69782
1377.4	195 50	0.69565
1387.4	196 21	0.69348
1397.4	196 52	0.69132

С помощью этих двух табличек можно интерполировать нужные нам величины как для метеора ближе на 0.08, так и для метеора дальше Юпитера на 0.08 и на 0.15.

Для всех этих метеоров будем иметь:

lg a	lg μ	lg e
0.50358	1.01649	9.83562
0.50877	1.00870	9.83799
0.51470	0.99981	9.84069
0.52063	0.99092	9.84339
0.52582	0.98313	9.84576

После этих подготовительных вычислений можно приступить к вычислению специальных возмущений в сфере действия для всех наших восьми случаев. Для этого употребляем известные формулы, пригодные к тому случаю, когда требуется найти только сильные возмущения. Считаю лишним приводить здесь вывод этих формул, тем более что они проверены во многих приложениях [76].

Сначала имеем следующие обозначения, где буквы с индексами относятся к телу, возмущающему m'.

Ω и Ω' — долготы восходящих узлов;

i и i' — наклонения орбит;

π — долгота перигелия метеора;

v — его истинная аномалия;

k — постоянная Гаусса; $\lg k = 8.2355814$; для нее же в секундах дуги $\lg k = 3.5500065$;

p — параметр орбиты метеора;

e — $\sin\varphi$ — эксцентриситет;

E — эксцентрическая аномалия;

I — взаимное наклонение орбит; в дальнейших формулах это будет угол тупой, так же как и i, имея в виду обратное движение Персеид;

ψ — угловое расстояние между взаимным сечением орбит и восходящим узлом возмущающей массы;

ϕ — подобное же расстояние от восходящего узла тела возмущаемого — метеора;

l' — долгота возмущающей массы на ее орбите;

r' — ее радиус-вектор.

Из формул Деламбра — Гаусса следует:

$$\left.\begin{aligned}
\sin\frac{1}{2}I\sin\frac{1}{2}(\psi+\phi) &= \sin\frac{1}{2}(\Omega-\Omega')\sin\frac{1}{2}(i+i');\\
\sin\frac{1}{2}I\cos\frac{1}{2}(\psi+\phi) &= \cos\frac{1}{2}(\Omega-\Omega')\sin\frac{1}{2}(i-i');\\
\cos\frac{1}{2}I\sin\frac{1}{2}(\psi-\phi) &= \sin\frac{1}{2}(\Omega-\Omega')\cos\frac{1}{2}(i+i');\\
\cos\frac{1}{2}I\cos\frac{1}{2}(\psi-\phi) &= \cos\frac{1}{2}(\Omega-\Omega')\cos\frac{1}{2}(i-i').
\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

$l' - \Omega' - \psi$ будет долгота возмущающей массы m' на ее орбите, считаемая от общего сечения орбит; обозначим ее для нашего случая через J и положим:

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{tg} L' &= \operatorname{tg} J \cos I; \\ \sin B' &= \sin J \sin I. \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

Долгота перигелия метеора, считаемая от взаимного сечения орбит, будет $\Pi = \pi - \Omega - \phi$, а долгота метеора на его орбите, считаемая от той же самой точки, $M = v + \Pi$.

Пусть теперь

$$v + \Pi - L' = M - L' = Л,$$

и положим:

$$\left.\begin{aligned} \xi &= r' \cos B' \cos Л; \\ \eta &= r' \cos B' \sin Л; \\ \zeta &= r' \sin B'. \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

Если Ω есть возмущающая функция, то

$$\left.\begin{aligned} k^2 \left(\frac{\partial \Omega}{\partial r}\right) &= k^2 m' (K\xi - r : \Delta^3), \\ k^2 \left(\frac{\partial \Omega}{\partial v}\right) &= - r k^2 m' K \eta, \\ k^2 \left(\frac{\partial \Omega}{\partial z}\right) &= - k^2 m' K \zeta, \end{aligned}\right\} \tag{4}$$

где

$$K = \frac{1}{\Delta^3} - \frac{1}{r'^3}. \tag{5}$$

Если положить:

$$N = \frac{\lambda k m'}{\sqrt{p}}, \tag{6}$$

$$K\xi - \frac{r}{\Delta^3} = X, \tag{7}$$

$$R = NX, \; S = - NK\eta, \; Z = - NK\zeta, \tag{8}$$

$$L = - p \cos v \cdot R + (p + r) \sin v \cdot S, \tag{9}$$

то при этих обозначениях дифференциальные уравнения возмущений элементов метеорной орбиты будут иметь следующий вид:

$$D_\lambda(\delta\Omega) = r\sin(v+\omega)\cdot Z : \sin i. \tag{10}$$

$$D_\lambda(\delta i) = r\cos(v+\omega)\cdot Z. \tag{11}$$

$$D_\lambda(\delta\pi) = L : \sin\varphi + 2\sin^2\frac{1}{2}i\cdot D_\lambda(\delta\Omega). \tag{12}$$

$$D_\lambda(\delta\varphi) = a\cos\varphi\,[\sin v\cdot R + (\cos v + \cos E)\cdot S]. \tag{13}$$

$$D_\lambda(\delta\mu) = -3a\mu\cdot\sin 1'\,(\sin\varphi\sin v\cdot R + \frac{p}{r}\cdot S). \tag{14}$$

Для наших вычислений можно считать, что орбита Юпитера сливается с эклиптикой; восходящий узел метеора соответствует взаимному сечению орбит; наклонением орбиты метеора $i = 113°32'$ будет наше I. Ввиду небольшого наклонения орбиты Юпитера можно взять, пожалуй, $I = 112{,}^{\circ}5$; это, впрочем, безразлично.

M и J будут просто долготы метеора и Юпитера, считаемые на соответственных орбитах от восходящего узла метеора.

В наших вычислениях совершенно достаточно выразить угловые величины в минутах дуги, для чего введем выраженное в минутах число Гаусса, логарифм которого $\lg k = 1.77186$. В формуле (14) мы также видим $\sin 1'$.

Так как масса Юпитера $m' = \frac{1}{1050}$, то постоянное число $\lg(km') = 9.68314$; для получения в каждом отдельном случае величины N предыдущее число стоит только помножить на $\lambda : \sqrt{p}$.

Найденные числовые величины $D_\lambda(\delta\Omega)$ и т. д. суммируем, конечно, механической квадратурой для получения $\delta\Omega$ и δi и т. д.

Было бы лучше, может статься, взять интервалы λ меньше в 2 раза, но это для нас не имеет значения. Следует заметить

еще, что и несколько вне пределов сферы действия Юпитера, при сравнительно малых величинах $\delta\Omega$, получаются еще заметные величины дифференциалов изменений элементов; на это нужно обратить внимание. При округлении этих величин в целые минуты положительные числа $\delta\Omega$ следовало уменьшить на несколько десятых долей минуты.

Для нас не столько интересно иметь значение $\delta\mu$ и $\delta\varphi$, сколько величины δa, δe и δq. Последние получатся из первых с помощью простых формул.

Так как $a^{3/2} = k : \mu$, то

$$\delta a = -\frac{2k}{3\sqrt{a}\,\mu^2}\,\delta\mu. \tag{15}$$

Из $e = \sin\varphi$ получаем:

$$\delta e = \cos\varphi \sin 1' \cdot \delta\varphi, \tag{16}$$

где $\delta\varphi$ выражено в минутах дуги.

Наконец,

$$\delta q = (1 - e)\,\delta a - a\delta e. \tag{17}$$

Считаю излишним приводить здесь подробности очень простых в сущности вычислений; достаточно численные результаты представить просто в виде табличек.

Обозначим верхнее прохождение метеора буквою N, нижнее его прохождение буквою S; прохождение через линию Солнце — Юпитер, дальше Юпитера, через L, а прохождение через ту же линию, но ближе Юпитера по отношению к Солнцу, через P. При этом для случая, когда наименьшее расстояние метеора от Юпитера $\Delta' = 0.15$, имеем:

	N	S	L	P
$\delta\Omega$	$+4'$	$+3'$	$-2'$	$-2'$
δi	$+3^\circ.0$	$-2^\circ.9$	$-0^\circ.4$	$+1^\circ.0$
$\delta\pi$	$+2^\circ.8$	$-2^\circ.1$	$-0^\circ.9$	$+1^\circ.7$

$\delta\varphi$	+128′	—135′	+98′	—63′
$\delta\mu$	+0′.5281	—0′.4216	—0′.0487	+0′.1755
δa	—0.1152	+0.0920	+0.0113	—0.0359
δe	+0.0269	—0.0283	+0.0203	—0.0134
δq	—0.1232	+0.1209	—0.0648	+0.0313

Для $\Delta' = 0.08$ получаем:

δ☊	+3′	+2′	—4′	—4′
δi	+6°.8	—5°.9	—0°.6	+2°.2
$\delta\pi$	+6°.2	—4°.6	—1°.5	+3°.6
$\delta\varphi$	+295′	—279′	+224′	—57′
$\delta\mu$	+1′.1053	—0′.8756	—0′.1050	+0′.3767
δa	—0.2412	+0.1910	+0.0237	—0.0794
δe	+0.0619	—0.0585	+0.0467	—0.1477
δq	—0.2764	+0.2501	—0.1477	+0.0141

Прежде чем идти далее, сейчас же заметим, что при этих изменениях элементов отличаются малостью величины δ☊. Этого и нужно было ожидать при таком большом наклонении и значительной величине угла σ [77].

Но пусть даже для многих, считая от начала, последовательных прохождений через сферу деятельности δ☊ будут признаны слишком малыми: для нас важен характер этих изменений, то есть их знаки.

При дальнейшем затем уменьшении наклонения i, с течением времени, и самые величины δ☊ могут сделаться гораздо больше.

4

Приведенные таблички показывают изменения элементов орбиты метеора, прошедшего известным образом через сферу деятельности Юпитера. Из них видно, что возмущения вызывают незначительные движения узла, прямое и обратное, изменения наклонения в противоположные стороны, наконец, большие или меньшие изменения в положении перигелиев и в величинах q.

Таким образом, метеоры, вышедшие из одного пучка и долженствующие, при отсутствии возмущений, сходиться в разные времена в том же пучке, станут с течением времени пересекать плоскость эклиптики на различных расстояниях от Солнца и от земной орбиты, внутри и вне ее, притом при несколько различных узлах.

Было бы странным только поэтому допустить, что при всех подобных изменениях q, r и π в нисходящих узлах ни один из метеоров никогда не возвратится более к земной орбите и что Юпитер как бы тщательно отгоняет, отметает их от земного пути в ту или другую сторону — к Солнцу или от Солнца.

Определить все условия прохождения метеора через сферу действия не только для ряда последовательных прохождений, но даже для второго прохождения его, нет возможности, ибо для этого нужно было бы иметь строгие таблицы движения метеора со всеми незначительными даже возмущениями.

Таким образом, в этом случае, как и во всех явлениях, где подробности не могут быть предвычислены, большинство условий должно представляться нам как события, более или менее случайные, и нам остается только сделать самые общие заключения о свойствах изменений элементов в приложении их к фактам, добытым из наблюдений.

Конечно, нас должны особенно интересовать те метеоры, возмущенные пути которых представляют возможность встречаться с Землею, т. е. проходить в нисходящем узле на расстоянии от Солнца R, равном расстоянию Земли от Солнца.

Для каждого метеора или для тонкого пучка метеоров это R имеет при каждом прохождении через сферу деятельности Юпитера свое возмущение δR, которое можно представить себе функцией δq и $\delta\pi$, где δq есть уже функция δa и δe. Таким образом, необходимое условие для метеоров, способных пасть на Землю, после ряда прохождений через сферу возмущений будет выражаться, очевидно, так:

$$\Sigma\delta R = 0. \qquad \text{(R)}$$

Имея это условие в виду, можно сделать некоторое общее сопоставление теории с наблюдениями, которые, по сути дела конечно, долго еще будут оставаться и неполными и довольно грубыми.

Для наглядности представлений вообразим сферу деятельности рассеченной плоскостью, идущей через Солнце и через центр Юпитера, перпендикулярно к эклиптике (рис. 12).

Внутренний кружок представляет сферу, описанную радиусом, равным расстоянию четвертого спутника от Юпитера (0.017). Следующие три круга описаны радиусами, равными

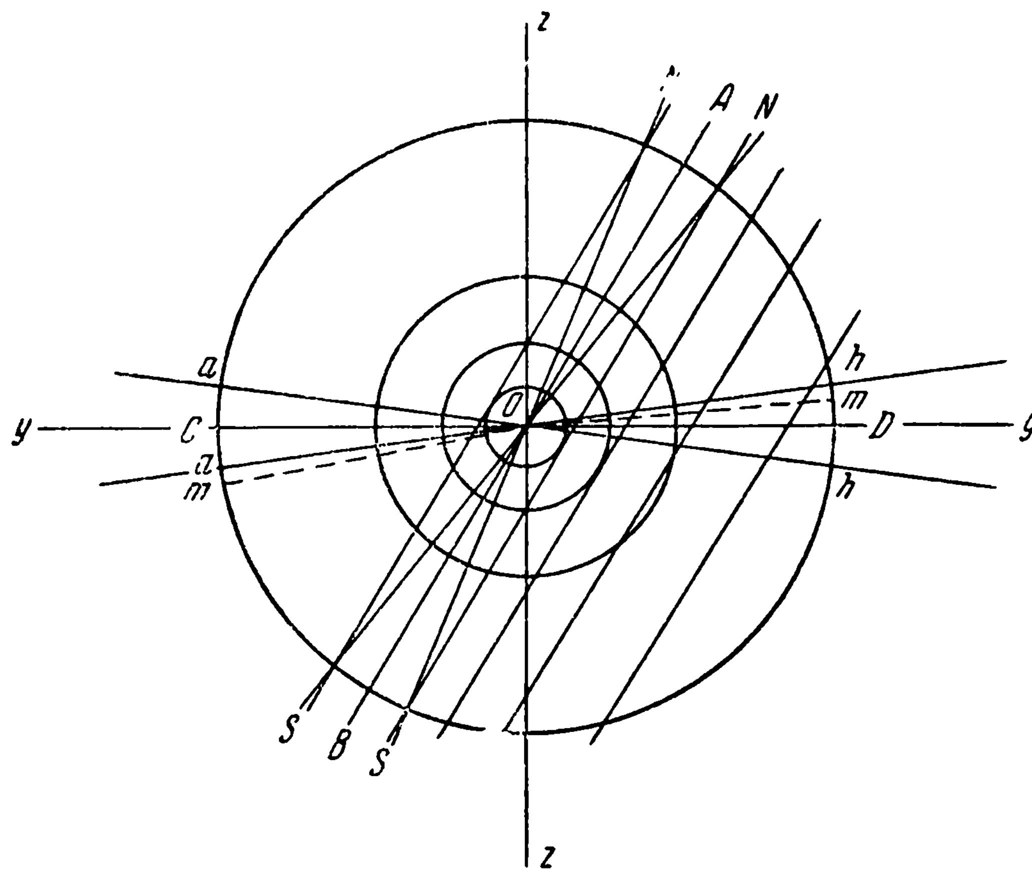


Рис. 12

соответственно 0.04, 0.08, 0.15. Линия, идущая к Солнцу, есть *yy*; линия *zz* к ней перпендикулярна.

Линия *AB*, наклоненная к линии *zz* под углом 30°, равным прежней дуге *ke*, представляет собой линию, по которой метеоры, отстоящие от Солнца на расстоянии, равном радиусу-вектору Юпитера, проходят через плоскость *yz*[78].

Внутренний кружок можно оставить без рассмотрения, так как в нем метеоры подвергаются слишком большим возмущениям, а многие и просто падают на планету.

Величины $\delta\Omega$, близкие к данным в табличках, находятся не по двум лишь линиям AB и CD, но в известных углах NON, SOS, aOa, hOh. Пунктирная линия, несколько искривленная, вдоль которой $\delta\Omega = 0$, будет mOm. Линии, параллельные AB, представляют собой те плоскости, в которых метеоры с разными r при первом прохождении через сферу деятельности пересекают круг $ADBC$.

1. Метеоры, для которых, при различных $\Delta', \delta\Omega$ имеют наибольшие, среди прочих, положительные величины, преобладающие над отрицательными вблизи оси yy, будут двигаться в некоторой полосе по середине пространства $NNSS$. Для них узел медленно поступает к востоку.

При симметричных прохождениях метеоров выше и ниже оси yy возможность удовлетворить условию (R) имеет значительную вероятность, судя по противоположным знакам при δq и $\delta\pi$, близких между собой по величинам в симметричных положениях. Для этих метеоров вообще берет перевес положительное δi, то есть острый угол наклонения убывает.

2. В полосе, параллельной первой и следующей вправо от нее, метеор, проходящий далее от оси yy, выше или ниже ее, имеет незначительное положительное приращение долготы узла, меж тем как при прохождениях своих ближе к оси он получает более значительное приращение отрицательное в долготе узла; так что последнее может стать преобладающим, и узлы такого метеора, или таких метеоров, подвигаются уже медленно назад, то есть к западу. Наклонение их тоже убывает.

Заметим, что от прохождения до прохождения радиусы-векторы r метеоров в восходящем узле должны меняться незначительно, особенно для срединной полосы; после нескольких прохождений через сферу деятельности они должны возвращаться к начальной величине, иначе заметного поступания узла к востоку не последует. Может быть, такой именно порядок вещей устанавливается не в первое время после истечения, но после известного уже изменения орбит.

Важную роль здесь должно играть изменение угла σ, вызываемое изменением π и a. Не нужно забывать также, что на одном и том же расстоянии от Солнца мы имеем множество орбит по линии узла: во-первых, целый веер их с отверстием в 8° по причине разницы в наклонениях i; во-вторых, систему орбит, происшедших из других точек истечения, до и после точки нисходящего узла, где различны не только i, но и σ.

3. Еще дальше вправо можно вообразить полосу, в которой в результате прохождений метеоров выше и ниже оси yy узел не меняется совсем, то есть метеоры остаются у положения эпохи максимума. Наклонение их тоже убывает. Тут уже удовлетворение условия (R) является более случайным, ибо линия $\delta q = 0$ несколько отклонена вверх от оси yy, а потому требуются более частые прохождения метеора выше оси yy. Вследствие этого число метеоров, попавших в такие случайные обстоятельства, должно быстро убывать, и они явятся уже как бы спорадическими. Наклонение и тут уменьшается.

Между полосами второй и третьей представляется где-то полоса наибольшего преобладания отрицательного $\delta\Omega$, т. е. наибольшего перемещения узла к западу.

4. Наконец, еще дальше вправо случайность сохранения условия (R) становится еще более редкой; узел меняется мало, но наклонение убывает значительно. Это — те метеоры, которые мелькают изредка у южных пределов площади радиации и значительно увеличивают ее в этом направлении.

5. Левая сторона сферы деятельности (рис. 12) вообще менее благоприятна для удовлетворения условия (R), ибо тут линия $\delta q = 0$ значительно отклонена вниз от оси yy.

Менее случайности в этом отношении представляет только полоса, лежащая тотчас влево от AB, о которой можно сказать, что тут заметно преобладание отрицательного $\delta\Omega$, т. е. перемещение узла к западу. В сумме прохождений берет перевес также отрицательное δi, т. е. возрастание острого угла наклонения. В соседстве с этой полосой можно отметить полосу с возрастанием же наклонения, но почти с неизменным Ω.

Эти метеоры остаются у эпохи максимума и увеличивают площадь ее радиации к северу. Далее влево для сохранения условия (R) требуются уже более и более невероятные случайности.

Во всех рассмотренных случаях π изменяется различно и в противоположные стороны. От этого зависит величина угла σ и, следовательно, происходит перемещение радиантов к востоку и западу на площади радиации.

Чтобы величины $\delta\Omega$, довольно малые, достигли величины многих градусов, требуется огромное время; но следует еще раз заметить, что с течением времени уменьшается i, а это уменьшение увеличивает значительно и $\delta\Omega$, как видно по формуле (10) § 3. При этом уменьшении, с одной стороны, уменьшается $\sin i$ в знаменателе, а с другой стороны, еще значительнее увеличивается $\sin\,(v+\omega)$ в числителе, так как при меньшем i делается возможным встреча метеора со сферой деятельности на большем расстоянии от узла, если тому не препятствует величина угла σ.

Если мы имеем в виду очень большое время, то тогда, может быть, придется обратить внимание на изменение радиуса-вектора Юпитера на линии узла кометы. От поступательного движения перигелия планеты на одну минуту дуги в год это изменение r' в течение одного обращения Юпитера составляет 0.0005.

Не совсем лишены будут значения, при более тонких соображениях и вычислениях, также и периодические изменения радиуса-вектора Юпитера.

Ясно, что во всех упомянутых выше случаях возможность этих случайностей должна быстро убывать с удалением от эпохи максимума в обе стороны, так что метеоры являются тут уже как бы спорадическими (разбросанными), а не систематическими (скученными) [79].

Условие (R) не заключает в себе условия $\Sigma\delta\mu = 0$, так что при соблюдении первого из них времена обращения метеоров после возмущений могут быть довольно разнообразны. Это обстоятельство делает возможным ежегодное появление метео-

ров, которые до возмущения имели лишь одно определенное время обращения.

Ежегодность появления метеоров с возмущенными орбитами поддерживается также возмущениями других больших планет. Тщательные наблюдения за очень многие годы, быть может, дадут ответ на вопрос: простирается ли явление ежегодно до одних и тех же пределов по времени?

Наконец, годовая периодичность указывает в свою очередь на неоднократное повторение извержений при приближениях кометы к Солнцу. Комета Персеид при последнем своем появлении в 1862 г. представляла аномальный хвост; отсюда можно заключить, что подобные извержения происходили и при каждом из предшествующих приближений к Солнцу. Вот почему рой Персеид так обилен для каждого года и так густ для нескольких дней по обе стороны эпохи максимума (августа 10.5).

Метеоры, для которых ☊ мало меняется, получают одинаковые, положительные или отрицательные, приращения наклонения, т. е. площадь радиации для эпохи максимума получает увеличение по широте (и склонению) вверх и вниз. Было уже сказано о причинах увеличения ее по долготе (и прямом восхождении). В статье нашей[1] мы показали, что размеры радиации обнимают площадь от $+36°$ до $+73°$ по склонению и от $25°$ до $65°$ по прямому восхождению при координатах центра площади

$$\alpha = 45°, \ \delta = +55°,$$

а мы отбросили еще несколько метеоров, одиноко промелькнувших за пределами указанной площади.

Центральную площадь радиации, градусов около 10 в диаметре, составляют те метеоры, а их большинство, которые по положению своих орбит относительно Юпитера и других больших планет могут подвергаться лишь ничтожным

[1] Th. B r é d i k h i n e. Sur les Perséides observés en Russie en 1890. Bulletin de l'Acad. des Sciences de St.-Pét., vol. VII, p. 136.

сравнительно возмущениям. Центр этой площади совпадает, как мы видели, с радиантом кометы, дающим наклонение i, равное наклонению кометной орбиты.

5

При удалении от эпохи максимума к западу и к востоку, то есть до и после нее по времени, наклонение метеорных орбит должно быть меньше наклонения кометы. В упомянутой только что статье мы показали на основании значительного числа наблюдений[1], что для 5 августа наклонение (острый угол) составляет 59°.3, августа 14.5 оно равно 59°.8, меж тем как для эпохи максимума $i = 65°.8$. Таким образом, наклонение уменьшилось на 6°. Для 1891 г. у нас есть несколько тщательных наблюдений июля 30, августа 1 и 18.

30 июля наблюдения были сделаны в Пулкове гг. Соколовым (С), Костинским (К) и Лебедевым (Л). Среднее время этой станции обозначается через t.

	Наблюдатель	t	Появление α	Появление δ	Исчезновение α	Исчезновение δ
1	(С)	11^h59^m	41°.0	+55°.6	37°.6	+65°.5
2	(Л)	11 59	45.9	53.6	44.0	57.6
3	(К)	12 7	8.6	18.8	7.1	11.2
4	(С)	12 51	6.4	58.8	0.5	59.2
5	(Л)	12 51	7.7	60.0	0.1	60.2
6	(С)	13 21	6.7	29.6	26.0	32.7
7	(Л)	13 21	17.8	32.3	44.0	38.7
8	(Л)	13 40	18.7	38.9	15.5	36.0
9	(К)	13 40	21.8	43.0	17.0	37.0
10	(С)	13 40	25.0	+50.5	21.6	+46.8

Взяв средние для одних и тех же метеоров, наблюденных разными наблюдателями, получим:

[1] Там же, стр. 145 [80].

		Появление		Исчезновение	
	t	α	δ	α	δ
1	11^h59^m	43°5	+54°6	40°8	+61°6
2	12 7	8.6	18.8	7.1	11.2
3	12 51	7.1	59.4	0.3	59.7
4	13 21	12.3	31.0	35.0	35.7
5	13 40	21.8	+44.1	18.0	+39.9

Первый метеор остался одиноким; другие образуют следующие радианты [81]:

1	(2,4)	$\alpha = 11°0$,	$\delta = +31°0$
2	(3,5)	$= 36.0$	$= +54.0$

1 августа наблюдения провел г. Разинков в Новогеоргиевске (Херсонской губернии):

		Появление		Исчезновение	
	t	α	δ	α	δ
1	10^h15^m	359°3	+56°6	13°1	+58°3
2	11 30	31.6	44.7	37.4	41.5
3	11 50	26.7	33.7	18.3	33.2
4	11 55	45.9	56.4	50.7	51.8
5	12 50	29.7	62.8	43.2	58.4
6	12 35	35.4	46.8	33.6	52.9
7	12 52	21.0	62.9	21.8	66.4
8	12 53	31.3	+63.6	28.8	+69.4

Метеор 1 пролетел одиноко; прочие дают следующие радианты:

1	(2,7)	$\alpha = 20°$	$\delta = +50°0$
2	(4, 5, 8)	$= 31$	$= 63.0$
3	(3,6)	$= 37$	$= +34.5$

Наносся радианты 30 июля и 1 августа на одну карту, получаем площадь радиации для июля 31, средина которой будет иметь координаты, исправленные за прецессию, для 11^h0 ср. гринич. вр.:

$$\alpha = 27°7, \qquad \delta = +46°6.$$

Для этого времени долгота Солнца $\lambda = 128°22'$; дальше по известным формулам вычисляем:

$$l = 43°44', \qquad \theta = 81°42',$$
$$b = 32\ 38, \qquad \varepsilon = 32\ 59,$$
$$l' = 50\ 18, \qquad \varepsilon' = 55\ 39,$$
$$b' = 54\ 47, \qquad s = 83\ \ 9,$$

откуда

$$i = 55{,}^{\circ}5.$$

Параболическая аномалия по углу s будет $v = +\ 13{,}^{\circ}9$; это есть расстояние между перигелием и нисходящим узлом.

Для нас важен тот результат, что наклонение на 10° слишком меньше наклонения для эпохи максимума. Его уменьшение в сутки, на один градус ☊, равно 1°.

Возьмем теперь наблюдения августа 18, проведенные в Пулкове г. Лебедевым.

		Появление		Исчезновение	
	t	α	δ	α	δ
1	10^h23^m	55°9	+40°6	55°7	+39°0
2	10 35	20.7	48.0	22.7	41.7
3	10 36	16.3	46.8	16.8	44.0
4	11 1	34.5	39.4	30.5	41.4
5	12 5	63.8	53.8	76.5	57.3
6	12 9	352.0	63.5	341.6	61.5
7	12 12	30.0	+50.9	38.5	+50.6

Отсюда для $9{,}^{h}3$ ср. гринич. вр. получаем следующие радианты.

1	(2, 3, 7)	$\alpha = 17°4$,	$\delta = +\ 50°0$
2	(4,5)	$= 37.5$	$=\ \ 38.0$
3	(1,6)	$= 57.0$	$= +\ 56.6$

Координаты средины площади радиации, исправленные за прецессию:

$$\alpha = 38°0, \qquad \delta = +\ 48°3.$$

Для этого времени $\lambda = 145°35'$; дальнейшие вычисления дают:

$$l = 52^\circ.7, \qquad \theta = 96^\circ.0$$
$$b = 31.6, \qquad \varepsilon = 31.6,$$
$$l' = 48.1, \qquad \varepsilon' = 53.0,$$
$$b' = 53.2, \qquad s = 94.5,$$

откуда

$$i = 53^\circ.4.$$

Параболическая аномалия по углу s будет $v = -9^\circ.0$. Наклонение на 12° меньше наклонения для эпохи максимума.

Нельзя оставить без внимания это согласие в уменьшении наклонения с указаниями теоретических наших соображений.

В настоящее время у меня имеются, кроме приведенных в предыдущих вычислениях, скудные наблюдения еще для нескольких дней между концом июля и 5 августа, а также между 15 и 18 августа; но интересные подробности можно будет вывести лишь тогда, когда при накоплении материала за многие годы наполнятся наблюдениями все ночи между началом и концом явления и площади радиации будут гуще покрыты нанесенными на них радиантами многих лет.

Наконец, я должен сказать еще, что для самого конца августа, именно 29 и 31, мне сообщены очень тщательные наблюдения, проведенные г. Модестовым в Рязани. Погода не дозволила ему наблюдать во все ночи второй половины августа, и потому эти наблюдения отделены длинным промежутком времени от 18 августа. Я поэтому не решаюсь до времени признать указанные метеоры Персеидами, хотя положение их радиантов на небе и еще более значительное уменьшение наклонения невольно наводят на такое признание.

На всякий случай, ввиду возможности пополнения со временем промежутка 18—29 августа, я приведу здесь эти ценные наблюдения с их вычислениями.

1891, августа 29

		Появление		Исчезновение	
	t	α	δ	α	δ
1	$11^h\ 7^m$	47°4	+28°0	46°7	+26°8
2	11 16	26.0	59.6	38.4	65.3
3	11 42	53.7	55.2	57.7	53.1
4	12 13	27.1	12.8	27.6	5.0
5	12 20	33.7	13.8	35.5	7.4
6	12 31	55.0	10.1	55.0	6.6
7	12 37	33.9	32.7	28.7	27.3
8	12 51	54.3	23.6	51.8	28.7
9	12 54	67.9	19.5	66.1	9.2
10	13 0	66.8	58.7	83.7	59.9
11	13 18	44.6	+40.3	40.4	+37.3

Метеор 2 остается одиноким. Отсюда для $10^h.4$ ср. гринич. вр. имеем следующие радианты:

1	(4, 5)	$\alpha = 25°$	$\delta = +39°$
2	(3, 10)	$= 52$	$= 56$
3	(6, 8)	$= 55$	$= 22$
4	(1, 7, 9, 11)	$= 77$	$= +54$

1891, августа 31

		Появление		Исчезновение	
	t	α	δ	α	δ
1	$10^h 50^m$	39°4	+41°0	43°3	+45°2
2	10 56	32.0	32.7	26.7	36.2
3	11 21	72.0	45.7	73.4	41.5
4	11 29	60.6	50.0	67.6	53.9
5	11 44	55.1	43.0	56.5	40.3
6	11 50	37.0	+59.2	25.0	+51.7

Для $9^h.4$ ср. гринич. вр. получаем следующие радианты:

1	(1,2)	$\alpha = 33°0$	$\delta = +32°0$
2	(4,5)	$= 54.5$	$= 45.5$
3	(3,6)	$= 60.0$	$= +61.5$

Нанеся все семь радиантов на одну карту, получим для 30 августа, $9^h_.9$ ср. гринич. времени, одну общую площадь радиации, координаты центра которой, за исправлением от прецессии, будут:

$$\alpha = 51^\circ_.5, \qquad \delta = +44^\circ_.7.$$

Для этого времени $\lambda = 157^\circ 19'$; дальнейшие вычисления дают:

$$l = 60^\circ 45' \qquad \theta = 103^\circ 18',$$
$$b = 25\ \ 4, \qquad \varepsilon = 25\ 49,$$
$$l' = 54\ 41, \qquad \varepsilon' = 43\ 45,$$
$$b' = 42\ 18, \qquad s = 99\ \ 9,$$

откуда

$$i = 43^\circ_.0, \qquad v = -36^\circ_.6.$$

В высшей степени интересно, что наклонение здесь еще меньше, чем в прежних случаях.

Для вычисления ε' по ε мы брали везде параболическую величину $D = 0.7071$; это не могло, конечно, чувствительно влиять на результаты.

Интересно для какой-нибудь площади радиации, например хотя бы для августа 29, вычислить элементы, то есть i и v, для характерных радиантов площади.

Для этого времени $\lambda = 156^\circ 11'$.

1) Самый южный радиант: $\alpha = 55^\circ_.7$, $\delta = +22^\circ_.1$.

$$l = 58^\circ_.5, \qquad \varepsilon = 8^\circ_.0,$$
$$b = 2.3 \qquad \varepsilon' = 13.7,$$
$$l' = 53.1, \qquad s = 103.1,$$
$$b' = 3.9, \qquad i = 4.0,$$
$$\theta = 163.2 \qquad v = -26.2.$$

2) Самый северный радиант: $\alpha = 52^\circ_.7$, $\delta = +56^\circ_.1$.

$$l = 65^\circ_.4, \qquad b' = 60^\circ_.2,$$
$$b = 35.8, \qquad \theta = 91.1,$$
$$l' = 64.2, \qquad \varepsilon = 35.8,$$

$$\varepsilon' = 60^\circ\!.2, \qquad i = 60^\circ\!.2,$$
$$s = 91.0, \qquad v = -2.0.$$

3) Самый восточный радиант: $\alpha = 77^\circ\!.7$, $\delta = +54^\circ\!.1$.

$$l = 81^\circ\!.6, \qquad \varepsilon = 34^\circ\!.3,$$
$$b = 31.0, \qquad \varepsilon' = 57.8,$$
$$l' = 98.9, \qquad s = 70.0,$$
$$b' = 50.7, \qquad i = 55.4,$$
$$\theta = 66.1, \qquad v = +40.0.$$

4) Самый западный радиант: $\alpha = 25^\circ\!.7$, $\delta = +39^\circ\!.1$.

$$l = 38^\circ\!.7, \qquad \varepsilon = 37^\circ\!.4,$$
$$b = 26.4, \qquad \varepsilon' = 62.8,$$
$$l' = 13.0, \qquad s = 127.3,$$
$$b' = 40.6, \qquad i = 55.0,$$
$$\theta = 133.0, \qquad v = -74.6.$$

Наклонение наивысшей точки площади радиации не достигает здесь наклонения для эпохи максимума; плоскость же орбиты для нижней точки радиации чуть не доходит до эклиптики.

С другой стороны, из положения перигелиев (v) видно, что разбрасывание в плоскостях орбит, т. е. к востоку и западу, зависит от изменения π и связанной с ним величины угла σ.

Из изменения величины i явствует, что плоскости метеорных орбит до и после эпохи не параллельны плоскости кометной орбиты и не идут к какому-либо определенному месту ее, что противоречит допущению кольца метеоров, в котором орбиты, имея общий фокус в центре Солнца, должны были бы несколько сходиться к общему перигелию.

Едва ли стоит здесь напоминать, что площади радиации вдали от эпохи, имея очень значительную величину, весьма бедны радиантами; это делает мало точным определение их центров. Помочь такому недостатку может только сопоставление наблюдений за многие годы. Вот почему важны наблюдения

вдали от эпохи максимума. Любители астрономии окажут услугу науке наблюдениями метеоров в указанные времена, причем необходимо тщательное нанесение их путей на карту, дабы возможно было критически рассмотреть выводимые из наблюдений радианты. Указания радиантов, не сопровождаемые такими картами или координатами, всегда оставляют место сомнениям и дают простор произвольным толкованиям.

6

Позволим себе теперь повторить все предыдущие соображения в сжатой форме выводов.

1. В момент происхождения метеоров из кометы пути их расходятся коническим пучком отверстием в несколько градусов. При отсутствии сильных планетных возмущений площадь радиации ограничивается лишь несколькими градусами и явления проходят быстро: несколько часов, два или три дня.

В рое Персеид, и ему подобных, часть метеоров может приходить через сферы деятельности больших планет и подвергаться там значительным и разнохарактерным возмущениям.

2. Те из метеоров, у которых долгота узла меняется очень незначительно, должны оставаться около эпохи максимума (для Персеид 9, 10, 11 августа); все же, имея очень измененные в ту и другую сторону наклонения и долготы перигелиев, они увеличат площадь радиации во все стороны до десятков градусов, образуя на ней радианты, удовлетворяющие условию (R), как случайно уцелевшие при многих превратностях в своих прохождениях через сферы деятельности больших планет.

Густую центральную часть площади радиации для эпохи максимума составляют метеоры, пути которых проходят в промежутках между большими планетами, на далеких расстояниях от последних.

3. Те метеоры, которые получили через достаточное время большое изменение в узле в ту и другую сторону — к востоку и западу, имеют стремление к постепенному уменьшению наклонения своих орбит к эклиптике по мере удаления от эпохи.

Различие в наклонениях с самого момента образования, равно как и различие в величинах π, будет заметно увеличено возмущениями; в результате получатся не точки, но значительные, бедно покрытые радиантами, площади радиации, средины которых с очевидностью показывают — как мы только что видели на основании наблюдений — уменьшение наклонения по мере отдаления от эпохи максимума.

Есть некоторые частности явлений, которые нельзя вывести из теории простым путем. Так, более заметное изменение узла сопровождается и обусловливается уменьшением наклонения; но в то же время мы видим на далеких от эпохи узлах радианты с очень малым наклонением рядом с радиантами, имеющими очень значительное наклонение; вторые как будто не совместимы с первыми. Однако и в этом случае можно, повидимому, найти объяснение. В самом деле, метеоры с орбитами, имеющими уже далеко отступившие узлы и малое наклонение, могут случайно чаще проходить через ту полосу, где q не меняется, и, стало быть, при некоторых величинах $\delta\pi$ для них возможно осуществление условия (R); те, что ближе к Солнцу, получат еще меньшее i, а те, что дальше, наоборот,—увеличение i.

Метеоры срединной полосы AB, имеющие малое наклонение и узлы, удалившиеся к востоку, могут иметь малые углы σ,— к чему ведет убывание a,— и, следовательно, сохранить q, а также выполнить условие (R), пройдя даже лишнее число раз либо выше, либо ниже оси yy: в первом случае наклонение уменьшится еще значительнее, а во втором — увеличится сравнительно с наклонением для эпохи.

В наших рассуждениях мы имели в виду лишь первые последовательные прохождения метеоров через сферу деятельности. При дальнейших последовательных прохождениях, за отсутствием сколько-нибудь заметных возмущений от остальных планет, метеоры должны возвращаться к тому же положению, где встретились с Юпитером; тех из них, для которых соблюдено условие (R), мы застанем в положениях, по существу не отличающихся от начальных, хотя, конечно, в меньшем и

меньшем числе с течением времени. Следовательно, к ним можно прилагать те же рассуждения в основных чертах.

Вопрос о времени, в течение которого произошло разрастание минут $\delta\Omega$ во многие градусы, является вопросом, по крайней мере в настоящее время, праздным. Он соответствует, например, вопросу: во сколько времени образовался данный хребет гор или напластовалась та или иная геологическая формация? Тут действия были тоже малы, но время сделало результаты огромными. Можно и дóлжно сказать только, что явления роя Персеид во всяком случае весьма древнее и что оно подновлялось истечениями, вероятно, при каждом приближении производящей кометы к Солнцу, как указывает на то существование аномального хвоста в 1862 г. Вероятно также, что в далеком прошедшем истечения были гораздо обильнее. Этим обстоятельствам следует приписать значительное сгущение радиантов у середины площади радиации вблизи эпохи максимума. От каждого нового истечения, подобно волнам, расходились вперед и назад от эпохи возмущенные радианты, скудея числом и исчезая совсем при некоторой величине узла.

Мы знаем[1], что образованные истечением из ядра метеоры имеют орбиты, которые сходятся в противоположном узле веером, градусов в 8 отверстием, то есть с наклонениями, довольно различными между собой. Это обстоятельство в свою очередь ведет к различию и в обстоятельствах прохождения метеоров, одновременных по происхождению, через сферу деятельности. От этого и возмущения их будут различны и радианты будут разбросаны.

Далее, метеор исходит не только из одной точки кометной орбиты, но из каждой точки целой дуги ее, и каждая такая точка даст, при соответственном J, такие метеоры, веер путей которых пересечет эклиптику по линии узлов, на орбите Юпитера. Для всех этих вееров касательные к орбитам будут иметь различные направления, что также будет содействовать раз-

[1] Th. Brédikhine. Sur l'origine des étoiles filantes. Bulletin de la Société des Natur. de Moscou, 1889, № 1.

брасыванию радиантов. Наконец, планетные возмущения, независимо даже от только что упомянутого осложнения, изменяют π; следовательно, для встречи с Землей пути метеоров будут иметь разные направления, и их радианты будут разбросаны в направлении с востока на запад.

Говоря о возмущениях, мы по большей части называли только одну планету — Юпитер, ибо его действия следует считать наибольшими; однако и другие большие планеты имеют влияние на картину расположения радиантов на площади радиации как во время эпохи, так и в другие дни.

За вопросом о происхождении Персеид и их особенностях сам собой возникает вопрос о том, каким образом сделалась членом солнечной системы производящая их комета,— та комета, которая по размерам своего пути и по наклонению орбиты к эклиптике настолько уединена, так сказать, от заметных планетных возмущений. Производить ее путь от пути какой-нибудь параболической кометы только с помощью возмущений одной из больших планет — дело очень неблагодарное. Гораздо проще допустить, что она имела свою производящую параболическую комету, от которой некогда отделилась, на близком сравнительно расстоянии от Солнца вследствие извержения. Если предположим для примера, что извержение имело место у нисходящего узла, то есть на расстоянии от Солнца, равном почти единице, то при $j = 0.06$ и $J = 0$ получатся размеры эллипсиса нашей кометы, как легко вывести с помощью легких приближений из наших формул («О происхождении падающих звезд»[1]).

Интересно, что приведенная величина j — одного порядка с величинами, найденными нами десятки раз при исследовании кометных форм. Что она меньше j, взятого для метеора и выведенного из явлений хвоста кометы 1862, то это понятно, ибо отделение большой массы при одной силе толчка сопровождалось меньшей начальной скоростью.

---

[1] См. стр. 9 сл. — *Ред.*

Если извержение совершилось на большом расстоянии r от Солнца, то для него величина j требуется значительно меньше.

Комета производящая удалилась в пространство либо по прежней параболе, либо даже по гиперболе, так как реакция при извержении дала ей некоторый толчок по направлению от Солнца, то есть по направлению $J = 180°$.

Думаю, что формулы Калландро, приводимые в его мемуаре «Этюд по теории периодических комет», в главе III, будучи более разработаны в частностях для приложения к нашей теории, могли бы привести к возможности более подробного и более строгого рассмотрения разных сторон явления рассеяния точек радиации, вызванного возмущениями. Но я ограничусь пока вышеприведенным изложением моих соображений в самых общих чертах [82].

До сего времени нельзя было объяснить с помощью общепринятой теории разбрасывание радиантов на многие градусы и на протяжении многих дней. Если мои рассуждения являются единственно верными, они, вероятно, не останутся без дальнейшей разработки со стороны других лиц и будут приложены к другим роям, подобным рою Персеид.

1892, апрель.

[В. Р.— Mélanges Math., t. VII; nouv. série, III (XXXV)]

ОРБИТЫ БИЕЛИД

В годы 1872 и 1885 в изобилии наблюдались 27 ноября метеоры, произведенные кометой Биела; в этот самый день их число достигало до 35 000 за 6 часов.

В 1892 г. наибольшее развитие явления произошло 23 ноября, и каждый час появлялось по нескольку сотен метеоров. Некоторые оценивают это число во многие тысячи (Nature, № 1214). В соседние дни с трудом можно было насчитать несколько появлений метеоров, самое большее — десять за час.

Мы скоро рассмотрим причину смещения явления; сперва мы изложим наблюдения и те результаты, к которым они приводят.

1

В Европе дурная погода препятствовала наблюдениям роя 23 ноября; в Америке его можно было наблюдать во многих местах. Наилучшие для определения координат точек радиантов наблюдения были сделаны в Брайтоне, около Бостона, Э. Сойером и опубликованы в «Astronomical Journal», № 283, стр. 146. Приводим их:

		Появление		Исчезновение		
	Ср. бостон. вр.	α	δ	α	δ	Величина
1	7^h50^m	26°	+20°	25°.5	+16°	3
2	7 57	22.5	40.5	19	40.5	4
3	8 4	21.5	22	21	19	1
4	8 6	31	42.5	32.5	43	2

	Ср. бостон. вр.	Появление		Исчезновение		Величина
		α	δ	α	δ	
5	$8^h\ 8^m$	31°5	42°	33°	42°5	4
6	8 12	26	33	26	31.5	3
7	8 15	26	31	26	29.5	3
8	8 20	10	41.8	357	42	1
9	8 22	35	40.5	40	41	2
10	8 27	25	49	26.5	53	3
11	8 40	46	48.5	55	50.5	3
12	8 58	31.8	35	32.5	32	2
13	8 59	23	47	24	49	3
14	9 5	26	28	26.5	21	2
15	9 7	27	32.5	27.3	31	4
16	9 13	27	41	27.5	41	3
17	9 18	15	37	11	34.5	>1
18	9 23	37.5	30	41	27	2
19	9 25	12	40.5	4	40.5	2
20	9 27	30	22.5	31.5	18	2
21	9 47	55	47.5	67	48	2
22	10 47	163	65	176	56	>1
23	10 55	49	24	59	16	1
24	11 7	55	24	60	19	3
25	11 13	79	+6.5	85	+ 2	>1

Географические координаты Бостона таковы: $\varphi = +42°23'$ $l = 4^h44^m$ к западу от Гринича. Положения метеоров, нанесенные на сетку в гномонической проекции, дали мне для среднего арифметического времени наблюдения 9^h5^m следующие точки радиации:

		α	δ	Вес
1	(13, 17, 23)	19°5	+39°5	3
2	(10, 25)	21.0	34.5	2
3	(18, 20)	22.5	40.5	2
4	(3, 4, 5, 8, 9, 11, 14, 19, 21)	25.0	39.5	9
5	(2, 6, 7, 15, 16)	26.0	41.0	5
6	(1, 12)	29.0	42.0	2
7	(22, 24)	36.5	+38.0	2

Для средины площади радиации получаем:

$$\alpha = 25°26, \qquad \delta = +39°56.$$

Часовой угол этой средины равен 354°14′; откуда имеем ее зенитное расстояние $z = 5°2'$ и ее параллактический угол $p = -54°6'$.

Долгота Солнца составляет 242°18′; для радиуса-вектора Земли имеем $\lg R = 9.99426$, следовательно, долгота апекса $L = 152°54'$.

По приближенной величине элонгации $\varepsilon = 111°34'$ и параболической величине D получаем $\varepsilon' = 155°33'$; затем для большей строгости в вычислении по эллиптической скорости кометы, для которой $\lg v = 8.3564$, выводим $\lg D = 9.8732$ и $\lg u = 8.0048$; отсюда, с помощью известных формул $\lg \frac{u}{w} = 9.9249$. По этой величине и зенитному расстоянию находим в таблице Скиапарелли $\psi = 27'$.

Для широты Бостона логарифм коэффициента суточной аберрации, выраженный в минутах дуги, есть 1.7566. Итак, поправки, касающиеся зенитного притяжения, будут:

$$\Delta\alpha = +28', \qquad \Delta\delta = -16',$$

а для суточной аберрации:

$$\Delta\alpha = -74', \qquad \Delta\delta = +3'.$$

Таким образом, исправленные координаты средины площади радиации будут:

$$\alpha = 24°30', \qquad \delta = +39°21';$$

откуда

$$l = 37°51', \qquad b = +27°1'.$$

Далее имеем:

$$\begin{array}{lll} \theta = 150°38', & l' = 354°11', & V = -41°42', \\ \varepsilon = 112\ \ 8, & b' = 11\ 33, & v = -47\ \ 1, \\ \varepsilon' = 155\ 54, & s = 110\ 51, & i = \ \ 12\ 22. \end{array}$$

V обозначает аномалию метеора и v — аномалию кометы; мы видим, что перигелий метеоров находится на 5°.3 позади перигелия кометы. Наклонение в точности равно наклонению кометы.

25 ноября г. Морин в Пулкове нанес на карту восемь метеоров: вот их положения (для эпохи 1855.0):

		Появление		Исчезновение	
	Ср. пулков. вр.	α	δ	α	δ
1	$8^h\ 5^m$	25°.8	+14°.9	25°.2	+ 9°.0
2	8 55	5.2	26.4	1.6	24.0
3	9 3	16.7	51.3	8.0	54.6
4	9 18	35.6	58.0	40.0	35.5
5	9 36	8.7	41.8	2.4	38.8
6	9 44	30.9	14.7	31.6	6.0
7	10 6	21.3	26.5	21.3	18.8
8	10 17	35.1	+37.2	34.8	+32.6

Я перенес эти координаты на сетку в гномонической проекции и получил три радианта:

		α	δ	Вес
1	(3, 6)	21°.0	+44°.0	2
2	(2, 4, 5, 8)	27.5	46.5	4
3	(1, 7)	35.5	+41.0	2

Для средины площади радиации в 9^h23^m ср. пулков. вр. получаем, принимая во внимание веса:

$$\alpha = 27°.9, \qquad \delta = +44°.5.$$

Для момента, указанного выше, находим часовой угол $t = 358°1'$, $z = 15°18'$, $p = -3°38'$. По приближенной величине $\varepsilon = 108°8'$ и $D = 0.7313$ находим $\varepsilon' = 152°10'$; далее выводим: $\lg v = 8.3655$, $\lg u = 8.0568$, $\lg w = 8.1180$ и $\lg \frac{u}{w} = 9.9389$; откуда $\psi = 64'$ и $\lg(0'.929 \cos\varphi : w) = 1.5520$.

Поправка за притяжение зенита:

$$\Delta\alpha = +6', \qquad \Delta\delta = -64',$$

а за аберрацию

$$\Delta\alpha = -50', \qquad \Delta\delta = +1'.$$

Прибавляя эти поправки, получаем:

$$\alpha = 27°46', \qquad \delta = +43°39'$$

и

$$l = 42°22', \qquad b = +29°56'.$$

По долготе Солнца $\lambda = 244°3'$ и $\lg R = 9.99411$ находим долготу апекса $L = 154°37'$ и далее:

$$\theta = 148°\,7', \qquad b' = 13°\,57', \qquad V = -45°\,35',$$
$$\varepsilon = 109\;\;9, \qquad s = 112\;48, \qquad v = -45\;\;5,$$
$$\varepsilon' = 152\;51, \qquad i = 15\;10, \qquad V - v = -0\overset{\circ}{.}5.$$

24 ноября в Пулкове г. Соколов, будучи свободен после полуночи от своих обычных наблюдений, видел много Андромедид; за промежуток 30 минут (13^h — $13^h.5$) он их насчитал шесть, однако их на карту не наносил.

В Риме видели Биелиды 17, 20, 21 ноября; 17 ноября их было изобилие (Comptes Rendus, 1893, № 13).

26 ноября небо прояснилось только на 50 минут, с 7^h30^m—8^h20^m; г. Морин нанес единственный метеор.

В этот самый день в Архангельске, в 3^h37^m пополуночи видели прекрасный болид, имевший вид кометы; весь город и даже внутренность зданий были ярко освещены на 30 секунд. Видимый диаметр ослепительного шара равнялся третьей части Луны; его хвост захватывал 25°; свет его был как синева неба; утверждают, что был слышен слабый треск.

Два наблюдения, сообщенные нашему Астрономическому обществу, дают для болида следующие положения по азимуту и по высоте:

	Появление		Исчезновение	
	a	h	a	h
I	67°.5	75°	67°.5	15°
II	22.5	70	67.5	15,

среднее арифметическое которых

III	45°	72°.5	67°.5	15°.

Географические координаты Архангельска:

$$\varphi = +64\overset{\circ}{.}5, \qquad l = 41\overset{\circ}{.}0$$

к востоку от Гринича.

Пользуясь этими данными, получаем:

	I	II	III			
τ	25°0	10°8	18°2	Появление	63°5	Исчезновение
δ	+56.0	+45.4	+70.5		+ 4.3	
α	279.8	294.5	285.8		241.8	

Если мы нанесем на центральную сетку эти три траектории и продолжим их в противоположном направлении, то увидим, что они пересекают в следующих точках круг склонения, имеющий прямое восхождение 25°:

I		II		III	
α	δ	α	δ	α	δ
25°	+51°	25°	+31°	25°	+41°

Линия III проходит совсем близко от центра радиации Биелид, а линии I и II расположены симметрично к северу и к югу от этого центра. Очень возможно, что этот болид принадлежит Биелидам.

Биелиды 27 ноября наблюдались в Одессе (широта +46°28′.6, долгота $2^h3^m2^s$ к востоку от Гринича) гг. Кононовичем (К), Орбинским (О) и Цветиновичем (Ц). Их карта имеет эпоху 1855.0.

	Наблюдатель	Ср. одесск. вр.	Появление α	Появление δ	Исчезновение α	Исчезновение δ	Величина
1	К	$9^h\ 8^m$	39°0	10°5	35°	8°	4
2	О	9 54	115	32	125	61	3
3	О	9 56	165	74	190	60	2
4	К	10 14	28	2	25	— 2	4
5	О	10 29	97	56	140	63	4
6	О	10 31	109	38	130	80	2
7	К	10 34	7 5	12	4 5	4	3
8	О	10 40	112	15	119	30	4

	Наблю-датель	Ср. одесск. вр.	Появление α	Появление δ	Исчезновение α	Исчезновение δ	Величина
9	К	10^h45^m	17°	— 2°.5	12°	—11°	4
10	О	11 1	52	51	50	71	4
11	К	11 2	38	— 2.0	35	— 4	4
12	О	11 3	73	59	44	63	3
13	О	11 11	73	47	46	55	3
14	К	11 12	59	48	39	49	3
15	К	11 23	47	2.5	44	— 2	3
16	О	11 34	115	63	160	58	5
17	К	11 44	25	24	29	21	4
18	К	11 46	32	20	25	16	3
19	О	11 50	63	61	62	76	5
20	О	11 51	21	41	3	35	3
21	К	11 51	29	42	3	35	3
22	О	11 55	177	37	193	66	5
23	К	12 5	19	10	12	— 4	1
24	Ц	12 7	14.5	40.5	0	20	1
25	О	12 11	23	24	357	22	3
26	К	12 11	0	32	347	20	1
27	О	12 13	5	6	348	0	2
28	К	12 16	345	14	352	2	4
29	О	12 19	115	92	175	68	3
30	О	12 33	43	43	35	50	4
31	О	12 36	28	27	15	31	5
32	Ц	12 38	30	38	15	35	2
33	О	12 39	35	37	19	31	3
34	Ц	12 42	50	50	29	42	2
35	О	12 46	3	58	35	73	3
36	О	12 47	135	63	173	57	2
37	К	12 57	27	22	25	25	4

Метеоры 2, 6, 8 и 22 отдельные; 33 других дают следующие точки радиации для соответственных времен t:

		t	α	δ	Вес
1	(28, 35)	12^h31^m	344°.0	+16°.5	2
2	(17, 25, 37)	12 17	25.5	24.0	3
3	(7, 24)	11 20	34.0	55.0	2
4	(18, 31)	12 11	38.0	23.0	2
5	(3, 20, 21, 23, 30)	11 36	43.0	+43.5	5

		t	α	δ	Вес
6	(9, 32, 33)	$12^h\ 0^m$	46°0	+39°0	3
7	(10, 26, 34)	11 58	52.0	51.0	3
8	(1, 5, 15, 27)	10 49	58.0	19.0	4
9	(14, 29)	11 46	63.0	47.5	2
10	(11, 19)	11 26	63.0	15.0	2
11	(4, 13, 36)	11 24	74.0	46.5	3
12	(12, 16)	11 19	78.5	+54.5	2

Среднее арифметическое времен есть 11^h43^m ср. одесск. вр. или 9^h40^m ср. гринич. вр. Для этого момента имеем $\lambda = 246°10'$ и $\lg R = 9.99394$, откуда $L = 156°42'$.

Точки радиации сильно разбросаны, вследствие этого интересно проделать вычисления для каждой точки отдельно.

По приближенной величине $\varepsilon = 101°17'$, параболической величине $D = 0.707$, $\lg v = 8.3861$, $\lg V = 8.2296$ находим: $\lg u = 8.1512$ и $\lg w = 8.1928$; откуда $\lg\left(\frac{u}{w}\right) = 9.9584$ и $\lg(0.929 \cos\varphi : w) = 1.6132$.

Таким образом, будем иметь:

	τ	z	lg sin p	lg cos p	ψ
1	91°15′	78°58′	9.8460	9.8529	260′
2	46 15	43 7	9.8620	9.8362	114
3	23 30	17 3	9.9715	9.5389^n	48
4	32 15	34 58	9.8770	9.8852	91
5	18 30	13 24	9.9745	9.5181	37
6	21 20	17 24	9.9264	9.7292	50
7	15 0	10 51	9.9763	9.5078^n	30
8	— 8 15	28 19	9.3187^n	9.9902	79
9	+ 1 0	1 10	9.7711	9.9392^n	3
10	— 4 0	31 39	8.9616^n	9.9982	88
11	—15 30	10 38	9.9989^n	8.9819	29
12	—12 15	15 38	9.9667^n	9.5764^n	43

	Притяжение		Аберрация		Сумма	
	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$
1	—190′	—185′	+ 1′	—12′	—189′	—197′
2	— 91	— 78	—31	—12	—122	— 90
3	— 78	+ 17	—66	—13	—144	+ 4
4	— 63	— 70	—38	— 9	—101	— 79

	Притяжение		Аберрация		Сумма	
	Δα	Δδ	Δα	Δδ	Δα	Δδ
5	— 48′	— 12′	—54′	— 9′	—102′	— 21′
6	— 54	— 27	—49	— 9	—103	— 36
7	— 45	+ 10	—63	— 8	—108	+ 2
8	+ 17	— 77	—43	+ 2	— 26	— 75
9	— 3	+ 3	—61	— 1	— 64	+ 2
10	+ 8	— 88	—42	+ 1	— 34	— 87
11	+ 42	— 3	—57	+ 8	— 15	+ 5
12	+ 69	+ 16	—66	+12	+ 3	+ 28

Поправка за прецессию $\Delta\alpha = +36'$ и $\Delta\delta = +9'$; принимая $\lg D = 9.8495$, имеем:

	α	δ	l	b	θ	ε
1	341°27′	+13°22′	348°15′	+19°34′	119°23′	157°24′
2	24 4	22 39	30 37	+11 45	165 34	125 13
3	32 12	55 13	51 27	+39 14	139 45	101 47
4	36 55	21 50	41 37	+ 6 51	172 27	114 48
5	41 54	43 18	53 0	+25 50	153 30	102 25
6	44 53	38 33	53 42	+20 37	158 54	102 1
7	55 48	51 11	62 20	+31 26	148 29	93 57
8	58 10	17 54	59 51	— 2 15	182 18	101 58
9	62 33	47 41	69 46	+26 9	153 49	87 13
10	63 2	13 42	63 38	— 7 19	187 19	90 0
11	74 21	46 44	78 20	+23 55	155 38	79 18
12	79 9	+55 7	82 43	+31 56	147 2	76 25

	ε′	b′	l′	s	V	ι
1	173°10′	+ 5°57′	340° 4′	93°25′	— 6°50′	+ 5°58′
2	160 30	+ 4 46	355 36	108 52	—37 44	+ 5 3
3	145 35	+21 25	4 19	115 33	—51 6	+23 53
4	154 44	+ 3 13	1 47	115 2	—50 4	+ 3 33
5	146 5	+14 25	7 45	119 57	—59 54	+16 42
6	145 46	+11 41	9 6	121 39	—63 18	+13 46
7	138 50	+20 8	13 25	124 8	—68 16	+24 34
8	145 44	— 1 18	11 12	124 14	—68 28	— 1 34
9	132 9	+19 5	21 26	131 43	—83 26	+26 0
10	135 0	— 5 10	21 25	134 32	—89 4	— 7 15
11	123 19	+20 10	30 54	139 34	—99 8	+32 7
12	119 50	+28 10	32 22	136 42	—93 24	+43 30

Средняя величина i с учетом весов будет $15^\circ\!.0$; средняя величина $V = -64^\circ$, и так как для кометы $v = -44^\circ$, находим $V - v = -20^\circ$. Это смещение перигелиев заслуживает нашего внимания; мы его коснемся позже. Если возьмем просто среднее арифметическое для еще неисправленных радиантов, то подходящая поправка нам даст:

$$l = 54^\circ 8', \qquad b = 17^\circ 39',$$

далее:

$$\theta = 161^\circ 57', \qquad s = 122^\circ 28',$$
$$\varepsilon = 101\ 51, \qquad V = -64^\circ\!.9,$$
$$\varepsilon' = 145\ 38, \qquad i = 12\ .0.$$

Ввиду крайнего рассеяния радиантов второй способ исправления недостаточен.

Чтобы лучше изучить явление в его подробностях, нелишне будет привести здесь некоторые замечания по этому поводу.

Согласно некоторым наблюдателям, можно утверждать, что появление метеоров прекратилось после 23 ноября; но мы выше привели и вычислили наблюдения 25 и 27 ноября. Итак, достоверно, что Земля встречала метеоры в сравнительно большом количестве от 17 до 27 ноября.

Так, например, Грусс, в Праге, в своей статье о ноябрьских метеорах (19—27) пишет, между прочим (Astr. Nachr., № 3152): «Ноября 24, вечером, 8^h — очень немногие».

В упомянутой статье Сойера мы читаем замечание: «Поток казался недолговечным, так как только один или два метеора наблюдались в следующие ночи, ноября 24, 25 и 26». Достойно внимания, что до эпохи максимума, 19 ноября, между 8—9 вечера, Грусс видел «несколько ярких падающих звезд».

Вообще до и после эпохи максимума имеются более или менее слабые явления. К несчастью, от 20 до 22 ноября дурная погода прервала наблюдения.

Столь же важно отметить, что поток 27 ноября казался довольно богатым через несколько часов после наблюдений в Одессе.

Действительно, в своей статье о ноябрьских метеорах (American Journal of Science, № 265) Ньютон говорит, что между 8^h и 11^h около Нью-Орлеана несколько знакомых ему путешественников видели большое количество этих метеоров, падавших группами по два и по несколько за раз, так что эти путешественники потеряли надежду их сосчитать. Новый Орлеан находится на 8^h к западу от Одессы, и, следовательно, рой мог наблюдаться здесь (в Одессе) только между 4 и 7 часами утра.

Густота роя 23 ноября выражается часовым числом его метеоров. Но проф. Ньютон, в Нью-Хэвене, после 10 часов вечера смог один насчитать 10 метеоров в минуту, что дает часовое число 600. Проф. Истмэн, в Вашингтоне, насчитал 327 метеоров за 53 минуты. Кажется, такая частота длилась до $11^h.4$.

Кирквуд (Publications of the Pacific, № 26, 1892, p. 253) говорит, что в Калифорнии поток начался во время сумерек 23 ноября и что в течение 40 минут, в начале вечера, он смог насчитать 150 метеоров. Согласно ему, общее число должно было дойти до 1000 между 8^h и 11^h.

Перрайн, в Аламеде (Калифорния), между 7^h32^m и 8^h50^m отметил их 1013 (Astr. Journ., № 283).

Сойер утверждает, что метеоры двигались медленно, были вообще довольно яркими и часто падали группами. Это последнее обстоятельство подтверждается многими другими наблюдателями, например Рисом (там же), который выражается так: «Любопытным обстоятельством при падении, как мне представлялось, было появление группами. В течение нескольких минут вовсе не было видно метеоров, затем можно было насчитать пять и более, падавших почти в одно и то же время и в той же самой части неба».

Хаген говорит (там же), что метеоры были всех величин, начиная с первой до самой слабой, и что некоторые из них могли сравняться с Юпитером.

Согласно некоторым наблюдателям, площадь радиации была довольно ограничена; так, например, по словам Хагена, можно

было только для небольшого числа метеоров заметить направление вне общей точки радиации. Много коротких и слабых стрелок, казалось, пересекали во всех направлениях окрестности точки радиации внутри круга в 10° диаметром.

Аналогичный факт отмечен Перрайном.

Истмэну казалось, что метеоры были разбросаны настолько, что это мешало определению точки радианта.

Помимо положения точки радиации, выведенного выше из наблюдений Сойера, мы располагаем еще некоторыми краткими данными; так, Борастон (Nature, № 1214) дает для радианта $\alpha = 28°$, $\delta = +36°$; согласно Истмэну, имеем $\alpha = 23{,}^\circ8$, $\delta = +51°$; с помощью нескольких зарисовок Ньютон нашел $\alpha = 25°$, $\delta = +35°$; Хэссей (Amer. Journ., № 276) дает $\alpha = 24{,}^\circ8$, $\delta = +42°$; согласно Сойеру, $\alpha = 25°$, $\delta = +41°$ и, согласно Рису, в Нью-Йорке, $\alpha = 21{,}^\circ6$, $\delta = +43{,}^\circ9$.

За исключением радианта Истмэна, все остальные дают хорошо согласные, для этого рода наблюдений, координаты, и надо заключить, что протяжение площади радиации было, действительно, довольно малым, во всяком случае менее значительным, чем 27 ноября по наблюдениям в Одессе, где радиация представлялась очень разбросанной, несмотря на значительное ослабление явления после 23 ноября[83].

В моей Записке об Андромедидах поправки, обязанные притяжению зенита и суточной аберрации, были по недосмотру внесены неправильно. Пользуюсь случаем сделать нужное исправление, хотя его результат совершенно нечувствителен. По исправлении восьми главных радиантов находим: $\alpha = 26{,}^\circ67$, $\delta = 43{,}^\circ81$, откуда

$$l = 41°37', \qquad b = 31°25'.$$

Так как L равно 156°31′, находим:

$$\theta = 147°\,5', \qquad b' = 13°\,39', \qquad V = -42{,}^\circ8,$$
$$\varepsilon = 111\,17, \qquad l' = 358\;\;38, \qquad v = -42.8,$$
$$\varepsilon' = 154\,14, \qquad s = 111\;\;24, \qquad i = \;\;14.7.$$

В указанной записке мы имели $i = 14^\circ\!.4$.

Исправленные и нанесенные на карту радианты слегка изменяют рисунок взаимного расположения радиантов.

По поводу этой поправки следует заметить, что формулы для вычисления суточной аберрации движения и зенитного притяжения имеют ошибочные знаки почти во всех сочинениях об этом предмете; они исправлены в «Vierteljahrschrift», но и там величина постоянной аберрации движения выражена, как сказано, в градусах (?). Поэтому не будет излишним дать здесь краткое изложение этих формул. Обозначения букв либо хорошо знакомы, либо угадываются с первого взгляда. Мы прибавим формулы для вычисления долготы апекса и часового угла τ.

$$\theta = \tau + \alpha.$$

$$\cos z = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\tau.$$

$$\cos p \sin z = \sin\varphi \cos\delta - \cos\varphi \sin\delta \cos\tau.$$

$$\sin p \sin z = \sin\tau \cos\varphi.$$

$$V^2 = k^2\left(\frac{2}{R} - 1\right); \quad \lg V = 8.2296-10; \quad \lg k = 8.23558-10.$$

Для параболы

$$v^2 = k^2 \frac{2}{r};$$

для эллипса

$$v^2 = k^2\left(\frac{2}{R} - \frac{1}{a}\right),$$

$$V : v = D; \quad \sin(\varepsilon' - \varepsilon) = D \sin\varepsilon,$$

где ε — приближенная величина.

$$u = \frac{v \sin\varepsilon'}{\sin\varepsilon} = \frac{V \sin\varepsilon'}{\sin(\varepsilon' - \varepsilon)}; \quad w^2 = u^2 + 2gR;$$

$$\lg(2gR) = 5.62591-10 \ (\text{для } \varphi = 45^\circ);$$

откуда получаем $\lg\left(\frac{u}{w}\right)$.

С помощью этой последней величины и z мы находим по таблице Скиапарелли величину ψ.

Затем для аберрации:

$$\Delta\alpha = -\frac{0.'929}{w} \cos\tau \sec\delta \cos\varphi,$$

$$\Delta\delta = -\frac{0.'929}{w} \sin\tau \sin\delta \cos\varphi,$$

и для притяжения зенита:

$$\Delta\alpha = -\psi \sin p \sec\delta,$$

$$\Delta\delta = -\psi \cos p;$$

$\frac{0.'929}{w}$ выражено в минутах дуги, а не в градусах.

$$\omega = 100^\circ 21'.3 + 1'.028\,(t - 1850);$$

$$\mathrm{tg}(\lambda - L) = \frac{1-e^2}{e}\,\frac{1}{R\sin(\lambda-\omega)}; \quad \lg\frac{1-e^2}{e} = 1.7756,$$

где λ — долгота Солнца и L долгота апекса[84].

2

Однако почему главный рой переместился с 27 ноября на 23 ноября, причем его узел изменился почти на 4° (246°8′—242°18′)?

При изучении движения кометы Биела или, вернее, частиц, замещающих ее и имеющих то же самое время обращения, мы видели, что они должны были испытать сильные возмущения от Юпитера между 1889.5 и 1891.5.

Мы можем применить для вычисления этих возмущений формулы, использованные в нашей записке «О рассеянии радиантов». Чтобы облегчить нахождение дифференциальных коэффициентов, мы разделим орбиту на части через 2° по истинной аномалии. В этом случае интервал λ не будет более постоянным, и для устранения этого неудобства следует ввести в вычисления для каждой точки орбиты среднее арифметическое двух величин λ: предшествующей и следующей по отношению к этой точке.

В нижеследующей таблице λ уже является этим средним арифметическим. Элементы орбиты таковы:

$$T = 6.672, \qquad \pi = 110^\circ 2'.4,$$
$$\lg a = 0.54951, \qquad \Omega = 246\ 8.0,$$
$$e = 0.75359, \qquad i = 12\ 22.0.$$

Для среднего годового движения имеем: $\lg \mu = 5.28835$, $\lg km' \sqrt{p} = 1.22072$, где k выражено в минутах дуги и умножено на число дней в году.

Чтобы отсчитать долготы кометы и Юпитера от общего узла их орбит, находим численные величины известных углов:

$$J = 13^\circ 29', \ \psi = 149^\circ 48' \text{ и } \varphi = 3^\circ.6'.$$

Долготу M кометы, отсчитанную от этого общего узла, получим, если прибавим к ее истинной аномалии величину $-139^\circ 11'$. Чтобы получить соответствующую долготу Юпитера J, нам следует прибавить $-249^\circ 9'$ к его гелиоцентрической долготе.

Полярные координаты Юпитера были взяты из «Nautical Almanac». Время t считается от перигелия, прошедшего в 1886.07.

v	λ	$\lg r$	t
181°	0.180	0.79324	1889.49
183	0.175	0.79084	89.67
185	0.170	0.78841	89.84
187	0.165	0.78294	90.01
189	0.160	0.77740	90.17
191	0.155	0.76972	90.33
193	0.149	0.76078	90.48
195	0.142	0.75039	90.62
197	0.135	0.73897	90.76
199	0.128	0.72656	90.89
201	0.121	0.71309	91.02
203	0.114	0.69898	91.13
205	0.107	0.68401	91.24
207	0.100	0.66854	91.34
209	0.090	0.65249	91.44
211	0.080	0.63598	91.52

M	J	Λ	Δ	d_λ (δ ☊)
41°49′	24°40′	+17°45′	2.088	— 3′.21
43 49	29 55	14 35	1.873	5.85
45 49	35 9	11 25	1.658	9.02
47 49	40 12	8 24	1.508	14.17
49 49	45 14	5 23		19.82
51 49	50 17	+ 2 19		25.56
53 49	55 7	— 0 33		27.54
55 49	59 35	3 4		27.21
57 49	63 57	5 27		24.59
59 49	68 16	7 54		20.36
61 49	72 14	9 57		15.86
63 49	75 54	11 42		12.28
65 49	79 30	13 42		9.70
67 49	82 46	14 45		7.79
69 49	85 49	15 53		5.98
71 49	88 33	—17 1		— 4.56

Графическая экстраполяция дает нам еще дополнительную величину к последнему столбцу: —5′.6; и суммируя этот столбец, получаем окончательно:

$$\delta\,☊ = -3^\circ.99.$$

Упомянутые нами формулы и величины, приведенные в таблице выше, дают нам:

$$\delta i = -0^\circ.50$$

Изменения среднего суточного движения и долготы перигелия будут.

$$\delta\mu = -2''.74, \qquad \delta\pi = -0^\circ.5.$$

Ясно таким образом, что смещение роя обязано возмущениям со стороны Юпитера[85].

По свидетельству наблюдателей в Америке, в Пулкове и Одессе, явление длилось по меньшей мере четыре дня; Земля пробегает за этот промежуток времени 1 400 000 географич. миль или 7 диаметров Солнца. По всей вероятности, нужно прибавить к этой продолжительности еще несколько дней — в начале и в конце, предположим, 4 дня, что даст нам полную продолжительность в 8 дней.

Обычно выражаются неопределенно, что значительная продолжительность явления происходит от того, что Земля проходит облако телец, образовавшихся после распада кометы. Однако облако таких размеров, ввиду малой величины кометной массы, не может двигаться вокруг Солнца как постоянная система.

Тельца, по мере того как они отделяются, должны располагаться на орбите кометы и могут образовать только очень тонкое кольцо, наибольшая толщина которого будет равна диаметру кометы до ее распада.

Чтобы уменьшить сколь возможно размеры облака, предположим, что оно является цилиндром, с осью, совпадающей с частью орбиты. Эта ось образует с направлением движения Земли угол в $22^{\circ}.4$ ($\beta = 108^{\circ}.8$, $i = 12^{\circ}.4$). Прохождение Земли внутри цилиндра совершается за 8 дней. Следовательно, толщина цилиндра, или диаметр его сечения, перпендикулярного к оси, должен быть равен 1 070 000 географич. миль. Нужно еще добавить, что кометная орбита проходит на расстоянии в 120 000 географич. миль от Земли и, таким образом, мы получаем толщину цилиндра 1 100 000 географич. миль или 5.88 диаметра Солнца.

Предполагая даже, что Земля остается не более 4 дней внутри цилиндра, а это есть нижний предел, мы будем иметь его толщину в 3.1 солнечных диаметра; принимая также, что Земля встречает ось цилиндра,— чего на самом деле нет, все равно имеем, что его толщина равна 2.9 диаметра Солнца.

Отсюда мы видим, что смутное представление об облаке должно быть выяснено и дополнено. Это облако не является постоянной системой, но феноменом одновременного

присутствия, в заданном пространстве и времени, частиц с довольно различными орбитами; это мгновенная система, так сказать[86].

Возвращаясь в данном случае к нашим неоднократно изложенным теоретическим представлениям, мы можем развить их следующим образом.

Комета Биела до ее появления в 1846 г., и во всяком случае раньше 1852 г., была еще способна развивать энергию, вызывающую образование хвостов, бросать частицы в пространство во всех направлениях, сообщая им более или менее значительные начальные скорости.

Хорошо известно, какие орбиты должны описывать частицы вокруг Солнца и какие из них могут встречаться с Землей, причем в этом случае мы их видим как падающие звезды. Их количество таково, что комета теряет при этом довольно ничтожную долю своего вещества.

Позже, в 1846 и 1852 гг., комета распалась на несколько частей, обладавших уже более слабой начальной скоростью, зато уносивших — каждая из них — довольно значительную долю всей массы светила. Тогда было видно два светила; инструменты наших дней, может быть, помогли бы открыть несколько.

Эти тела описывают орбиты, очень мало отличающиеся от производящей орбиты, в особенности поблизости от эпохи разделения, и должны испытывать те же самые возмущения со стороны планет.

Комета 1889 V, разделившаяся на пять частей, для которых мы вычислили орбиты (Astr. Nachr.[1]), является примером такого деления комет[87].

Однако целая часть — или даже группа, последовательность соседних частей — должна проявляться во время встречи с Землей в виде более или менее обильного роя падающих звезд.

[1] B. 123, pp. 321—324, 1890.— *Ред.*

Мы будем сперва разыскивать орбиты тех частей кометы Биела, которые вызвали блестящие появления в 1872, 1875 и 1892 гг., затем предадимся вероятным догадкам об орбитах метеоров, следующих за днями максимума и предшествующих им [88].

3

Более чем вероятно, что разделение и полное разложение кометы начались в 1846 г. Механическая причина этого деления может быть в общем виде выражена через начальную скорость j, сообщенную частицам в момент разделения, иначе сказать, в общей точке производящей орбиты и производной орбиты.

Для вычисления более удобно предположить, что начальная скорость совпадает с радиусом-вектором (направлена к Солнцу) или с его продолжением. Обозначим первый случай знаком (+), а второй — знаком (—). Если разделение произошло в соседстве с афелием, знаки будут обратные. Можно также предположить, что начальная скорость не совпадает с радиусом-вектором, тогда ее величина будет иной. Если производная орбита образовалась во время появления 1846 г., времена прохождения через перигелий в 1846 г. будут почти те же самые для этих двух орбит, то-есть $T = 1846.112$.

Пусть R будет радиус-вектор Земли на линии нисходящего узла; этот радиус-вектор на 0.006 меньше, чем соответствующий радиус кометы; следовательно, чтобы встреча метеоров с Землей была возможна, производная орбита в ее нисходящем узле должна иметь тот же самый радиус-вектор R.

Пусть r — общий радиус-вектор обеих орбит в точке деления; V — истинная аномалия этого радиуса-вектора в производной орбите и v — в производящей орбите; β —угол касательной к производящей орбите с этим радиусом и β' — соответствующий угол для производной орбиты.

Если мы приведем элементы орбиты от 1859 г. к равноденствию 1893, мы будем иметь для этих элементов и для элемен-

тов производных орбит I, II и III, принадлежащих роям 1872, 1885 и 1892 гг., следующие величины, причем i остается одним и тем же (12°.4).

	Комета	I	II	III
Ср. гринич. вр.	1859.390	1872.986	1885.983	1892.976
π	109°50'.4	108°55'.0	108°45'.3	108°59'.2
lg a	0.54950	0.55149	0.54833	0.55050
lg e	9.87711	9.87788	9.87668	9.87750
lg q	9.94123	9.94087	9.94138	9.94103
T	6.672	6.718	6.645	6.695
lg R	—	9.99395	9.99397	9.99426
lg r	—	9.94216	9.94156	9.94146
v	—	+5°48'.0	—3°34'.0	+3° 3'.0
V	—	+6 43.4	—2 28.9	+3 54.2
β	—	87 30.5	91 32.0	88 41.4
β'	—	87 6.5	91 4.2	88 19.3
j	—	0.0099	—0.0116	—0.0095
m	—	292	342	279

Буква m обозначает величину начальной скорости, выраженную в метрах в секунду.

Перейдем теперь к частицам, обладающим более значительными скоростями и способным, соответственно величинам и направлениям этих скоростей, описывать орбиты с бо́льшими или меньшими временами обращения, чем комета.

Метеоры, проходящие вместе к данному перигелию, могли испытать из-за различия их орбит различные возмущения, в частности в долготах узлов. Вследствие этого различия в долготах узлов Земля будет их встречать в различные дни — до и после эпохи главного роя.

Чтобы сделать общий обзор годов, в которые комета Биела и ее производные орбиты могли испытать возмущения от Юпитера, я даю моменты прохождения кометы через перигелий и моменты, когда гелиоцентрическая долгота Юпитера достигала 290°, иначе говоря, когда планета находилась в той области, куда направляется линия апсид кометы, проведенная к афелию.

Комета (перигелий)	Юпитер (l=290°)	Комета (перигелий)	Юпитер (l=290°)
1772.13	1771.35	39.50	
78.91		46.11	1842.56
85.68	1783.21	52.75	1854.42
92.46		59.39	
99.25	1795.08	66.06	1866.29
1806.00	1806.95	72.73	
12.74		79.40	1878.15
19.48	1818.82	86.07	
26.21		92.74	1890.02
32.90	1830.69		

Сильные возмущения кометы имели место:

	$\delta\Omega$	δi
В 1794, после перигелия	—6°3	—3°5
В 1831, до перигелия	—2.2	—0.4
В 1841/42, после перигелия	—2.5	—0.6
В 1890, до перигелия	—4.0	—0.5

Последовательное изменение элементов Ω и i таково:

	Ω	i		Ω	i
1772	258°7	17°1	1852	246.3	12.6
1806	252.4	13.6	1859	246.1	12.4
1826	251.2	13.6	1866	246.0	12.4
1833	249.0	13.2	1892	242.0	11.9
1846	246.5	12.6			

Вычислим теперь возмущения орбит частиц, имеющих времена обращения T и отделившихся от кометы в одном из ее предшествующих приближений к перигелию, сообразно этим T, и приходящих вместе с ней к перигелию 1892 г.

Столбцы, озаглавленные «Пределы», дают промежутки времени и истинные аномалии, для которых были вычислены возмущения. Величина $km' : \sqrt{p}$ выражена в минутах дуги и умножена на число дней в году.

T	i	$\lg a$	Пределы
5.558	12°4	0.49662	1888.488—1892.036
13.344	12.4	0.75020	90.110— 92.012
26.688	12.4	0.95088	89.100— 92.127
40.032	12.4	1.06828	90.290— 92.150
40.032	15.4	1.06828	90.290— 92.150
40.032	9.4	1.06828	90.290— 92.150

Пределы	e	$\lg km' : \sqrt{p}$	$\delta\Omega$	δi
154°—226°	0.72169	1.22471	—7°00	—1°40
201 —231	0.84477	1.20973	—2.68	—0.12
202 —238	0.90221	1.20307	—2.55	—0.05
210 —240	0.92538	1.20041	—2.47	—0.03
210 —240	0.92538	1.20041	—3.90	—0.03
210 —240	0.92538	1.20041	—1.70	—0.02

Две последние строки дают возмущения для орбит с $T = 40$, описанных частицами, выброшенными не в плоскости кометной орбиты, но в плоскости, перпендикулярной к этой орбите под известными углами, которые могут придать соответствующим орбитам наклонения 15°4 и 9°4.

Предположим теперь, что в метеорном потоке имеются частицы с временем обращения $T = 40.032$, вышедшие из кометы в 1812 г.; они снова прошли через перигелий в 1852 г. (1852.86)[1]. Около этого времени ни комета, ни частицы не испытывали возмущений со стороны Юпитера. В 1831 и 1841 гг. они находились очень далеко от планеты. Итак, вплоть до 1891 г. они сохранили свои Ω и i: 251°2, 13°6, за исключением некоторых возмущений в 1806 г. Возмущения в 1891 г. переменили эти величины на 248°7 и 13°6; с таким $\Omega = 248°7$ они могли стать видимыми 29 ноября 1892 г.

Частицы, имеющие $T = 33.39$ и отделившиеся от кометы в 1826 г., снова прошли через перигелий 1859.60; в это время они были свободны от сильных возмущений и, следовательно,

[1] Времена перигелия для производных орбит предполагаются равными временам перигелия производящей орбиты в эпоху разделения; для видимых метеоров это разделение произошло до перигелия.

сохранили свой ☊ = 251°.2 вплоть до 1891 г.; в эту эпоху они его переменили на 248°, приобретая, таким образом, возможность быть видимыми 29 ноября 1892 г.

В 1847 г., 8 и 10 декабря, Хейс наблюдал много метеоров с радиантом $\alpha = 22°$, $\delta = +55°$, что дает ☊ = 258°.7, $i = 17°.1$. Однако частицы с $T = 37.94$, вышедшие из кометы в 1772 г., снова прошли через перигелий в 1810 г., не претерпев за это время сильных возмущений. Итак, они должны были сохранить свои ☊ и i, относящиеся к 1772 г., вплоть до 1848 г. Для половины предыдущего периода обращения, иными словами, для $T = 18.97$, частицы, отделившиеся от кометы в 1772 г., прошли через перигелий в 1791.10, 1810.07, 1829.04, 1848.01, 1866.98, 1885.95; они испытали возмущения в ☊ на 2°, такие, что в 1847, 1866 и 1885 гг. они могли быть видимы 8 декабря.

Частицы, вышедшие в 1772 г. и имеющие $T = 25.29$, также приходят без сильных возмущений к перигелию в 1847 г.

Метеоры, вышедшие в 1826 г. с временами обращения 33.39, 22.26, 11.13, изъяты от больших возмущений; поэтому они могли быть видимы 29 ноября 1892 г.

Если разделение произошло в 1846 г., частицы с $T = 23.44$ снова имели перигелий в 1869.55; они были изъяты от сильных возмущений, и в 1892 г. их ☊ был, следовательно, 244°; отсюда возможность их видимости 25 ноября.

Разделение в 1812 г.; $T = 26.67$ или 13.33. Возмущения в 1841 г. около 1°.7, в 1891 г. —2°.7. Возможность видимости — 27 ноября 1892 г.

Разделение в 1826 г.; $T = 22.26$ или 11.13; метеоры свободны от сильных возмущений со стороны Юпитера вплоть до 1891 г.; следовательно, их ☊ в 1892 г. равен 248°. Возможность быть видимыми — 29 ноября.

Разделение в 1846 г.; $T = 23.44$, или 15.63, или 11.72; они защищены от возмущений вплоть до 1891 г.; в 1892.9 метеоры имели ☊ = 243°.3, откуда следует возможность видимости 24 ноября.

Можно, наверное, найти еще много комбинаций, обусловливающих в себе видимость в ту или иную дату.

Итак, значительная дуга орбиты Земли в 1892 г. (и подобным образом в другие годы) пересекалась метеорами, принадлежащими к различным орбитам, но не образующими то невозможное облако, о котором мы говорили выше.

Метеоры с временами обращения меньшими, чем комета, испытывают более сильные возмущения (см. выше $T = 5.558$) и могут предшествовать появлению главного роя.

Наконец, если исключить действие возмущений, метеоры, имеющие орбиты, более удлиненные и более наклоненные по отношению к производящей орбите, могут предшествовать метеорам тех же самых орбит, но не наклоненных. Их возмущения, как это видно в нашей табличке выше, будут различными, и это тоже явится причиной разбрасывания метеоров по пути Земли.

Разумеется, количество метеоров для заданного времени и места не может быть получено теоретически; во всяком случае изобилие их представляется обратно пропорциональным величине начальной скорости j.

Долгота восходящего узла кометной орбиты (в 1859 г.) составляет 246°.1. Различные орбиты после их перигелия имеют радиусы-векторы, равные радиусам-векторам Юпитера, на весьма различных угловых расстояниях, считая от узла. Обозначая l долготу на орбите, для которой r и r' равны, и E — долготу этого r от восходящего узла, будем иметь:

T	l	E
5.558	276°.0	30°.0
6.672	268.6	22.5
13.344	254.3	8.2
26.688	248.5	2.4
40.032	246.6	0.5

Видим, что если все орбиты в некоторое заданное время испытывают возмущения от Юпитера по соседству с нисходящим

узлом, как, например, в 1795 г., то характер этих возмущений будет весьма различен для каждой орбиты: для $T = 5.6$, 6.7 сильные возмущения будут прежде всего чувствоваться в Ω и i, тогда как для других времен обращения T сильно затронута будет долгота перигелия.

Кроме того, мы знаем, что положение перигелия на производной орбите более или менее отличается от положения перигелия в производящей орбите в том случае, когда j сравнительно значительно. Это изменение может вызвать, в некоторых случаях, либо увеличение, либо уменьшение возмущений в π.

Итак, было бы очень интересно знать положения перигелиев на орбитах метеоров. Метеоры, наблюдавшиеся 27 ноября в Одессе, показывают большое изменение перигелиев по отношению к комете.

Наконец, надо отметить, что величина i для 27 ноября больше, чем 23 ноября. Это также является показателем различия T в орбитах частиц от 23 и 27 ноября, откуда происходит неравенство возмущений наклонения.

Без сомнения, наблюдений еще недостаточно, чтобы можно было проследить подробности этого тонкого предмета; но по крайней мере мы знаем, куда следует в будущем направлять свое внимание, чтобы найти критерии для различных теорий.

Исходя из этой точки зрения, — я это повторял много раз,— наблюдения метеоров любого потока важны не только в эпоху интенсивного явления, но и вне этой эпохи — во всю продолжительность потока.

1893, март.

[B. P.— Mélanges Math., t. VII; nouv. série, III (XXXV), 1893]

О НЕКОТОРЫХ СЛУЧАЯХ ДРОБЛЕНИЯ КОМЕТ

Мы знаем много случаев деления комет на несколько независимых тел, не говоря уже о их полном разложении на метеоры.

Комета Биела разделилась в 1841 г., в эпоху сильных возмущений со стороны Юпитера. Комета 1882 II раздробилась в соседстве с Солнцем на четыре части, очевидно под влиянием этого центрального светила, а комета 1889 V — на пять частей под действием Юпитера, когда она проходила очень близко от него.

Здесь мы должны сделать важное замечание о значении влияния, связанного с близостью к Солнцу и Юпитеру. Если мы предположим, что электротермическая энергия обратно пропорциональна квадратам расстояний и пропорциональна массам Солнца и Юпитера (отношение их излучений нам неизвестно),— что было бы даже слишком преувеличено по отношению к планете,— то мы увидим, что действие Юпитера на расстоянии 0.03 равносильно действию Солнца на расстоянии, в 33 раза большем, то есть равном 1. Итак, если данная комета может разделиться на расстоянии 0.03 от Юпитера, то она может разделиться на расстоянии 1 от Солнца. Способность дробиться зависит, естественно, от массы, от сцепления частей и от других физических особенностей, меняющихся от кометы к комете. Если допустить, что известная комета Лиэ (1860 I) не была двойной при ее вступлении в нашу систему, но что она здесь разделилась, она явится лишним доказательством сказанного, так

как ее расстояние перигелия немного превосходит расстояние Земля — Солнце [89].

Вообще мы до сих пор не можем установить предельного расстояния, на котором действие Солнца становится недостаточным для преобразования потенциальной энергии светила в достаточное количество кинетической энергии.

Нужно принять вообще, что в периодических кометах с коротким периодом относительно исчерпана сила, производящая излияния и хвосты, возбуждаемая Солнцем, но отличная от его разлагающего действия, обязанного простому неравенству притяжения на различные части кометы, находящиеся на неравных расстояниях от центрального светила. Обе эти силы здесь одного и того же порядка величины. В кометах с длинным периодом, особенно же в параболических кометах, живость и энергичность истечений, иногда образующих аномальные хвосты, бывают часто удивительны (1811, 1858 V, 1861 II...) и могут превосходить разлагающую силу притяжения.

Это различие в относительном влиянии двух сил должно также проявиться в происхождении метеоров. И Шульгоф[1] почти прав, когда он замечает, что я ищу происхождение трех больших потоков Биелид в медленном распаде кометы[2] и что я его приписываю испусканию вторичных роев. Он добавляет, что необходимо прибегнуть к моей теории для объяснения факта ежегодных наблюдений 10 августа падающих звезд в орбите кометы 1862 III, а также столь значительного числа существующих роев.

Ньютон, которому наука многим обязана за его исследования о метеорах, недавно нашел нужным допустить, что в образование метеоров вмешивается другой деятель, а не ньютоновское притяжение; это — в точности то, что я уже давно пытаюсь

[1] Revue générale des Sciences..., 1893, № 19, p. 641.

[2] Но я не говорю, что этот медленный распад обязан исключительно силе притяжения, ибо нужно численно доказать это допущение.— *Ф. Бр.*

показать. Приведем его собственные слова[1]: «В 1872 г. комета была примерно на расстоянии 50 000 000 географич. миль от тех телец, которые мы встретили, когда проходили через них 27 ноября, и которые дали нам блестящий дождь. Тринадцать лет спустя мы прошли через эту группу опять, и тогда мы были около 72 000 000 географич. миль впереди от кометы».

«Каковы те силы, которые унесли эти частицы на так много миль вдаль... эти маленькие тела из твердого вещества, которые отходят от кометы и затем следуют весьма близко от ее пути,— они испытывают действие не пропорционально их массам, как подобает силе, действующей на планеты на их орбитах... Мне кажется, что более естественное объяснение состоит в том, что вещества, выходящие из кометы, некоторым образом несут с собой электрический заряд или что-либо подобное, посредством чего они получают постоянное отталкивание или постоянное притяжение, достаточное, чтобы полностью изменить их орбиту— не в отношении ее вида, но медленным изменением, переносящим эти вещества на новую орбиту с новым периодом и таким образом рассеивающим их...»

«Какова должна быть эта добавочная сила, мы не можем сказать вполне определенно, потому что она меняется соответственно тому месту на орбите, где происходит распад. Если этот распад происходит около Солнца, — это одно дело; если вблизи Юпитера,— это другое дело. Мне скорее кажется, что распад происходит вдоль всей линии кометной орбиты, отчего получаются маленькие частицы со всеми видами электрических зарядов и с различиями всякого рода в центральном притяжении и разнообразии орбит; таким образом, частицы рассеиваются в широком пространстве и дают нам потоки на большом расстоянии от самой кометы...» (у меня— это различные значения j и J.— *Ф. Бр.*). «Я думаю, что все эти явления могут быть объяснены изменением, доходящим до одной десятой

[1] Proceedings of the American Philosophical Society, vol. XXXII, november 1893.

притяжения; то есть, если маленькая частица несет с собой заряд электричества, уменьшающий притяжение, допустим, до девяти десятых первоначальной притягивающей силы Солнца или увеличивающий ее до одиннадцати десятых,— этого будет достаточно для объяснения явления». (У меня это увеличение и уменьшение производится подбором подходящих величин угла излияния J. — *Ф. Бр.*).

Приложим этот принцип Ньютона к Биелидам, которые этот ученый, кажется, особенно имеет в виду. Вычислим производную орбиту под действием толчка, вызывающего скорость $j = 0.1$, и потом вычислим орбиту с той же самой большой полуосью a, обязанную постоянной силе, которая в сочетании с притяжением (взятым за единицу) дает эффективную силу, отличающуюся от ньютоновского притяжения на количество $\pm x$. Речь идет о том, чтобы найти это x.

Итак, примем $a = 3.5256$, $T = 6.620$. Проделаем вычисление для точки орбиты, где Земля встречает метеоры, для аномалии $v = +47°27'$ и $r = 1$. Здесь $\beta = 69°46'2$. Для значения начальной скорости, происходящей от внутренних сил, примем $j = 0.1$ (2950 метров в секунду) и возьмем три направления скорости: $J = +45°$, $0°$ и $-45°$. Таким путем получаем большие полуоси A и времена обращения T:

J	A	T
+45°	1.955	2.73
0	2.745	4.56
—45	6.103	15.08

Предположим теперь, что в той же самой точке орбиты частица получила электрический заряд: 1) без начальной скорости, так что эффективная сила $\mu = 1 + x$; 2) с начальной скоростью $j = 0.01$ например, причем $J = 0$, эффективная сила $\mu' = 1 + x'$. Для производных орбит с теми же самыми A будем иметь [90]:

A	μ	x	μ'	x'
1.955	1.153	+0.153	1.147	+0.147
2.745	1.049	+0.049	1.044	+0.044
6.103	0.935	—0.065	0.930	—0.070

Если для производящей орбиты принять параболу, у которой $q = 0.5$, а в точке отделения $r = 0.75$, тогда для $j = 0.1$ и $J = 0$ мы получим производный эллипсис, у которого $A = 5.601$, и тот же эллипсис для $\mu = 1.072$, $x = +0.072$.

Итак, видно, что численное значение заряда x почти наполовину меньше, чем начальная скорость истечения, когда времена обращения в производных орбитах достаточно близки к времени обращения производящей орбиты. Но для других времен обращения величина x может превосходить $j = 0.1$. Введение g здесь почти ничего не меняет.

Таким образом, приписывая малое значение начальной скорости g, нужно допустить довольно значительный заряд; если скорость g увеличивается, заряд приближается к нулю. Допущение беспрерывного существования заряда весьма произвольно, и кажется более естественным предположить, что изменение орбиты происходит от начальной скорости, сообщенной метеору потоками газа, которые выделяются из кометы при ее приближении к Солнцу. Это равносильно мгновенному заряду, толчку. В пользу этих боковых истечений говорят направления аномальных хвостов, о которых я достаточно говорил в свое время. Иначе нужно принять одновременно и заряд, и начальную скорость; однако нехватит ли одного из этих двигателей?

Исследования о Биелидах показали, что толчок $j = 0.01$ совершенно достаточен, и в этом случае значение x почти не отличается от толчка j[1].

---

[1] Для больших потоков 1872, 1885 и 1892 мы нашли, что их отделение от производящей орбиты имело место около перигелия, а значения j (для $J = 0$) соответственно таковы:

	—0.0099	—0.0116	—0.0095
или в метрах в секунду	292	342	279

Так как разность между этими величинами очень мала, можно просто принять среднее число $j = 0.01 = 300$ метров в секунду. (Th. Brédikhine. Sur les orbites des Biélides. Bulletin, XXXV и Astronomische Nachrichten: «Über die Bieliden»). Малые различия в периодах не изменяют возмущений $\Delta☊$ и Δi на 1890 г.

Допущение электрического заряда немного рискованно, имея в виду новую точку зрения на самую сущность электричества, согласно которой отталкивательная электрическая сила в хвостах, может быть, должна рассматриваться как отталкивательное действие светящихся тел. Мнения Ньютона пока еще изложены в общих выражениях; но так как здесь дело идет о моих мнениях, развитых в подробностях и неоднократно, я к ним еще раз вернусь в моей ближайшей статье о Персеидах, наблюдавшихся в России в 1893 г.

Когда говорят о распаде, невольно возвращаются к сложному вопросу о явлении Персеид на столь протяженной площади радиации (несколько десятков градусов) и в течение столь продолжительного времени (несколько десятков дней). Можно объяснить это явление, представив поток как чрезвычайно длинное шествие к перигелию одного из остатков первичной туманности нашей системы под видом облака или скопления. Допустим, что это скопление находится на довольно большом расстоянии, что оно имеет протяжение на несколько десятков градусов по небу, то есть поразительные размеры, и что оно состоит из метеорных частиц (произвольное допущение), притягиваемых Солнцем, по отношению к которому скопление обладает очень малым движением. Каждая частичка будет иметь свою орбиту — параболу или чрезвычайно удлиненный эллипсис, и все эти орбиты образуют коноид с вершиной в перигелии. Большие оси, как и плоскости орбит, образуют друг с другом всевозможные углы, заключенные в угловом протяжении скопления.

Таким образом, площадь радиации охватит то же самое протяжение. Что касается длительности явления, то есть рассеяния узлов, это уже явится делом возмущений, причиняемых большими планетами, которые могли бы проходить внутри коноида.

Но в этом громадном скоплении, какую роль будет играть ничтожная масса кометы? Однако именно вокруг точки радианта кометы мы находим резко выраженный максимум и наибольшее сгущение всех точек радиации потока.

Вероятно, имея в виду это важное обстоятельство, Скиапарелли отказался от идеи образования метеорных потоков путем разложения скопления туманного вещества[1]: «После открытия одновременного существования комет и метеорных потоков на одной и той же орбите больше нет причин принимать ее (указанную гипотезу.— *Ф. Бр.*) как действительный факт, и проф. Вейсс совершенно прав, когда он отбрасывает эту гипотезу»[91].

По моему мнению, предпочтительнее было бы объяснить только что упомянутые явления испусканием частиц, уже сгустившихся, отвердевших в комете. Для очень отдаленного прошлого, может быть, следовало бы приписать комете энергию (и тем более скорость j), в несколько раз бо́льшую ее современной энергии, ибо с течением времени тело кометы и ее потенциальная энергия должны во всех отношениях исчерпываться[92].

Если различие элементов орбит производящего тела и произведенного тела мало, мы можем суммировать ряд малых неизвестных действий в одно мгновенное действие или импульс, толчок, производящий начальную скорость. Сравнение этих элементов позволит вычислить начальную скорость, связанную с делением, с раздроблением. Нам невозможно оценить силу, которая производит деление; однако в разных случаях сопоставление этих начальных скоростей и их направлений может постепенно привести нас к пониманию природы и свойств деятеля или деятелей, играющих роль в рассматриваемых явлениях.

Допущение приливных действий и сил, подобных электричеству, или других деятелей может, таким образом, получить больше правдоподобия на основе численных данных, найденных только что указанным мною способом. Как известно, в исследовании изменений кометных форм подобный путь привел к достаточно важным результатам.

В ряде интересных явлений, проявившихся в комете 1892 III (Холмса), мы не встречаем засвидетельствованного деления, тем

[1] Schiaparelli. Entwurf einer astronomischen Theorie der Sternschnuppen, 1871. pp. 171—172.

не менее там были замечены особенности, в высшей степени благоприятные для выявления действий, развивающихся только в телах этих светил. И здесь наиболее интересно, что они именно совершились на значительных расстояниях от Солнца, превосходящих 2. Далее мы дадим сводку наблюдений, показывающих эти поразительные видоизменения кометы, которые всегда следует иметь в виду при размышлениях о строении этих тел.

Теперь перейдем к делению кометы 1882 II и к вероятному изменению ее орбиты после ее прохождения через перигелий.

Мы найдем нужные данные в превосходной работе Крейца[1]. Приводим элементы кометы до ее деления и средние арифметические из элементов четырех отдельных светлых точек после деления:

До деления	После деления
$\pi = 276°26'7''.8 \pm 10''.6$	$\pi' = 276°24'21'',46 \pm 13''$
$\lg q = 7.889895 \pm 0.0000679$	$\lg q' = 7.8892900 \pm 0.0000670$
$e = 0.9999330 \pm 0.0000050$	$e' = 0.9999103 \pm 0.0000022$
$T = 1245 \pm 141$	$T' = 817$

Нужно признать заметные различия в самих этих элементах, если не желать их приписывать ошибкам, связанным с особой формой орбиты, имеющей столь малое перигельное расстояние. Эти элементы не дают общей точки для двух орбит. Но если, как здесь, изменение орбиты очень мало, можно принять, что производящая орбита и производная орбита имеют общую точку там, где произошло изменение орбиты. Видно по вероятным ошибкам, что элемент q менее надежен, чем другие, и, следовательно, можно им располагать в допустимых пределах, чтобы найти искомую точку.

Предположим сперва, что эта точка находится на истинной аномалии $v = -30°$ производящей орбиты, и, исходя из этого предположения, вычислим значения J и j, сопровождающие изменения первоначальной орбиты. Мы имеем здесь

[1] H. K r e u t z. Untersuchungen über das System der Kometen 1843 I, 1880 I und 1882 II. II Theil. Der grosse Septemberkomet 1882 II, Kiel, 1891; pp. 51—60.

$\beta = 105°$, $v = -30°0'46''.34$; $v' = 105°0'23''.17$; $\gamma = +23''.17$. Для этих аномалий вычисляем величины r, средняя арифметическая которых составит $\lg r = 7.9192653$; с этим r и соответственными значениями e и e' вычисляем q и q' и находим: $\lg q = 7.8891529$, $\lg q' = 7.8891267$. Правда, эти значения выходят за пределы вероятных ошибок, но это потому, что мы достигли пересечения орбит за счет одного элемента q. С другой стороны, не будем забывать, что в этой статье мы стремимся только к приближенным результатам. Необходимые для нас касательные скорости будут таковы: $H^2 = 240.8514$ и $H_1^2 = 240.8484$; откуда посредством известных формул получаем: $J = +18°10'.5$ и $j = 0.00175 = 51.5$ метра в секунду.

Для изменения в самом перигелии, где $v = 0$, $\beta = 90°$, $\beta' = 90°0'23''.17$, $v' = -0°0'46''.34$, $\gamma = +23''.17$, средний радиус-вектор будет $\lg r = 7.8891398$; откуда имеем: $H^2 = 258.1521$ и $H_1^2 = 258.1491$, $H^2 - H_1^2 = 0.0030$; наконец, $J = +2°58'.0$, $j = 0.00181 = 53.3$ метра в секунду.

Для общей точки с аномалией $v = +30°$ имеем $v' = 29°59'13''66$, $\beta = 75°$, $\beta' = 75°0'23''.17$, $\gamma' = +23''.17$; откуда $H^2 = 240.8659$, $H_1^2 = 240.8629$ и $J = -11°49'.5$, $j = 0.00175 = 51.5$ метра в секунду. Со средним q имеем здесь: $T = 1243$ и $T' = 803$, что весьма удовлетворительно. Начальная скорость остается той же самой во всех трех случаях, но ее направление — сзади радиуса-вектора в двух первых случаях и спереди — в третьем.

Видим, что $J = 0$ должно соответствовать аномалии $v = +6°$, где толчок направлен прямо к Солнцу. Если это мгновенное действие есть суммарный результат непрерывного действия, проистекавшего на некотором протяжении дуги орбиты, то, как можно видеть, оно развивалось в течение известного времени почти симметрично по отношению к перигелию. Но реакция вещества, энергично выброшенного к Солнцу, не могла произвести толчок в том же самом направлении, и это заставляет думать, что, возможно, здесь имело место уже дробление кометы и что части, более слабые, отбрасывались в направлении,

противоположном от Солнца. Действительно, мы знаем, что Барнард и Брукс[1] заметили в октябре многочисленные отделившиеся туманности вокруг кометы на расстоянии от 6° до 8°. Итак, пространство вокруг обратного пути кометы казалось наполненным непрочными остатками этого тела. Стало быть, комета в собственном смысле слова, по наблюдениям после перигелия, являлась, возможно, только некоторой частью всей массы, раздробленной взрывом у перигелия; остальные части были еле заметны среди этих обломков.

Сделаем еще одно вероятное предположение. Мы показали раньше, что облака Шмидта должны были произойти вследствие взрыва в аномалии $v = 140°$; перенесем к этой точке изменение орбиты.

$$v = 140°;\ \beta = 20°;\ \beta' = 20°0'23''.7;\ \gamma = +23''.7$$

Для производящей орбиты $\lg q = 7.8889895$, $\lg e = 9.9999709$, откуда $\lg r = 8.8207765$.

Для производной орбиты $\lg q' = 7.8892900$, $\lg e' = 9.9999610$ и $\lg r' = 8.8209032$; для пересечения орбит $\lg r = 8.8208409$.

По этому r и соответственным значениям e находим:

$$\lg q = 7.8890539,\quad \lg q' = 7.8892257.$$

Различия между этими значениями и исходными значениями находятся уже в пределах вероятных ошибок. Затем находим соответствующие a:

$\lg a = 2.0629791$, $T = 1243$; $\lg a' = 1.9364333$, $T' = 803$.

Наконец, $H^2 = 30.20402$, $H_1^2 = 30.20109$, $J = -46°39'$, $j = 0.000672 = 19.8$ метра в секунду.

Направление начальной скорости — спереди от радиуса-вектора, под острым углом к нему. Если положить $j = 0$, $\beta = J$, скорость представится касательной, а j будет равно 7.9 метра в секунду; для $\gamma = 10°$; $J = -25°$, $j = 11.1$ метра в секунду. Мы догадываемся, таким образом, что реакция замедляет орби-

[1] Astr. Nachr., № 2489.

тальную скорость, и, вероятно, эта реакция обязана облакам Шмидта. Еще более вероятно, что она является результирующей реакций на ядро, вызванных в различных направлениях и этими облаками, и образованиями, виденными Скиапарелли[1], и туманностями Барнарда и Брукса.

Рассмотрим теперь дробление ядра на четыре части, обозначенные Крейцем (там же, стр. 40—41) номерами 1, 2, 3 и 4. Возьмем крайние точки 1 и 4; влияние на другие будет уже слишком слабо. Для этих точек:

1) $\lg q = 7.8893086 \pm 0.0000727$ 4) $\lg q = 7.8892472 \pm 0.0000612$
$e = 0.9998987 \pm 0.0000004$ $e = 0.9999199 \pm 0.0000003$
$\pi = 276°25'24''.5$ $\pi = 276°25'17''.8$

При этом e и среднем значении $\lg q = 7.8892779$ имеем:

1) $\lg a = 1.8836685$, $T = 669.1$;
4) $\lg a = 1.9856454$, $T = 951.6$.

Разность перигелиев равна $6''.7$; расстояние перигелиев точек 1 и 4 от среднего перигелия составляет $3''.35$; откуда $d\beta = \mp 1''.68 = \gamma$, где знак (—) относится к точке 1. Для этой точки $v = +3''.35$, $\gamma = -1''.68$, $H^2 = 258.06708$, $H_1^2 = 258.06571$; откуда $J = 161°58'.7$ и с продолженным радиусом-вектором $J = 18°1'.3$ в сторону, обратную направлению движения; $j = 0.00014 = 4.1$ метра в секунду.

Для точки 4 $J = -18°1'.8$ вперед от радиуса-вектора.

Пусть теперь будет $v = 90°$, $\beta = 45°0'4''.9$. Для точки 1 $d\beta = -1''.68 = \gamma$, $H^2 = 129.03348$, $H_1^2 = 129.03211$; откуда $J = 102°$, $j = 0.000110 = 3.25$ метра в секунду. Для точки 4 $J = -78°$. Значение j меняется мало, но его направление изменилось. Кажется, более естественным предположить, что раздробление произошло также во время катастрофы, упомянутой выше, то есть около $v = 140°$, когда J составляет почти $\pm 90°$ и j — перпендикулярно к радиусу-вектору.

[1] Th. Brédikhine. Sur les phénomènes extraordinaires de la grande comète de 1882 II. Bulletin, 1890.

Сопоставляя все, что мы говорили выше, приходим к мысли, что все явления взрыва имели место одновременно около аномалии $v = 140°$: части производящей массы были выброшены во всех направлениях, создавая результирующую своих реакций на ядро, которое само раздробилось на четыре части.

Причины родства кометы 1882 II с кометами 1843 и 1880 состоят, безусловно, в раздвоениях одной единственной производящей кометы [1].

Комета 1889 V разделилась на пять частей: *A* (производящая) и *B*, *C*, *D*, *E* — производные. Для *C* элементы определены с достаточной точностью; я вычислил эти элементы в 1890 г.[2]; позже, в 1891 г. Чэндлер, располагавший более значительным числом наблюдений, вычислил их с еще большей точностью. Это вычисление с помощью наименьших квадратов дало ему следующий результат [3]: «сила, приведшая к отделению компонент *A* и *C*, какова бы ни была ее природа, действовала в плоскости кометной орбиты и не произвела изменения этой плоскости или формы конического сечения, но только его размеров и направления большой оси» [93].

Элементы для *A* таковы [4]:

$\lg a = 0.5664000$ $T = 1889$, сентября 30.0119 ср. гринич. вр.
$\lg e = 9.6727478$ $\omega = 343°27'30''.0$
$\lg q = 0.2900986$

Чтобы перейти к элементам для *C*, нужно прибавить к предыдущим значениям следующие поправки:

$$\Delta T = 0^{d}.2170, \qquad \Delta\omega = 162''.4, \qquad \Delta q = -0.000454.$$

Поправка *e* весьма незначительна: ее верхний предел +0.0000347, а ее нижний предел —0.0000156. Нижний пре-

[1] Th. Brédikhine, Sur l'origine des comètes périodiques, p. 2.
[2] Astr. Nachr., CXXIII, p. 321.
[3] Astr. Journ., № 236.
[4] Там же, стр. 156.

дел для Δq, принимая во внимание вероятные ошибки, есть -0.000420.

Чтобы орбита части C имела общую точку с орбитой части A на ее оси, что кажется более предпочтительным, нужно принять это $\Delta q = -0.000420$ и затем, чтобы не слишком отягощать элемент q, допустить вариацию e. Общая точка находится, очевидно, около афелия, и для орбиты A значение r в афелии будет 5.4190774; для $v = 180° - 162''.4$ оно равно 5.4190744.

Это последнее значение есть радиус-вектор в афелии орбиты C; откуда с $q' = 1.9498670$ находим $\lg a' = 0.5663759$, $e' = 0.4707887$ и $\Delta e = +0.0000848$. Эта поправка e незначительна, хотя немного превосходит нижний предел, найденный способом наименьших квадратов.

По предыдущим числам находим p', m и $H_1^2 = 0.0976573$, причем величина H^2 составляет 0.0976729.

Отсюда $H^2 - H_1^2 = +0.0000156$. Так как $\beta = 89°57'35''$ и $\beta' = 90°$, $\gamma = +2'25''$, получаем $J = +6°26'.7$, $j = 0.000221 = 6.5$ метров в секунду. Для части B скорость более значительна.

Легко доказать следующую теорему. Если направление начальной скорости j совпадает с линией комета — Солнце, параметр производной орбиты остается равным параметру производящей орбиты [94]. В предыдущем случае J незначительно, и, действительно, имеем $p' : p = 0.99984$.

Если бы действие дробления не совершалось в плоскости производящей орбиты, плоскость производной орбиты получила бы некоторое наклонение i относительно плоскости начальной орбиты. В случае максимума, то есть когда толчок перпендикулярен орбите, $\varphi = 90$, и мы имеем:

$$\sin i = \sin J \sin \gamma : \sin(\beta - J).$$

В нашем случае i было бы равно $16''$ для $\varphi = 90$; i становится нечувствительным для острого угла φ. Деление произошло

в афелии производной орбиты, и мы должны иметь

$$\cos v' = (p - r) : r'e' = 1,$$

или $\sin v' = 0$. Считая, что это уравнение удовлетворяется, получаем $e' = 0.4707877$, разница которого с принятым эксцентриситетом будет только 0.0000010.

По поводу кометы 1892 III. После ее открытия она стала внезапно видимой простому глазу в области неба, исследованной в предыдущие дни. Это необычайное развитие блеска привело некоторых лиц к сомнению относительно кометной природы светила, к названию его псевдокометой и к объяснению его происхождения столкновением двух астероидов. Хронологическое изложение наблюдений доказывает, что изменение блеска повторялось несколько раз, но допустить подобные повторные столкновения невозможно.

Наблюдения [95].

1892, ноября 9. Д-р Хайн в Лейпциге (Astr. Nachr., № 3129). Яркая круглая туманность, 5′ диаметром, с центральным сгущением, но без ясного ядра. Из центра — излучение в виде пучка в позиционном угле 120°.

Ноября 10. Барнард в Ликовской обсерватории (Astr. Journ., № 280). 10-го, следуя за кометой, я сделал фотографию с этого объекта с трехчасовой экспозицией, используя 6-дюймовую линзу Вилларда и пластинку Крамера «Молния». Продолжительная экспозиция, конечно, должна была совершенно выжечь все яркие детали и была взята с целью найти что-нибудь вокруг окрестностей кометы.

Пластинка показала яркий круглый диск в виде плотного резко очерченного круглого пятна, очень мало размытого, следующего к югу. Симметрично вокруг этого была круглая туманная атмосфера, резко выраженная и довольно хорошо очерченная, 12′ в диаметре. Довольно узкий слабый хвост, свыше полуградуса длиной, также был виден и указывал на юго-восток. На окончании хвоста, примерно на расстоянии градуса от кометы, была слабая и очень неопределенной формы туман-

ность, возможно полградуса в диаметре. Я уверен, что она принадлежит к комете и, может быть, является диффузным туманным спутником.

Ноября 11. Вильсон в Цинциннати (Astr. and Astroph., January, 1893). 16-дюймовый рефрактор. 11^h комета очень яркая, почти круглая и почти равномерной яркости, за исключением того, что в позиционном угле 120° имеется яркий миниатюрный хвост, который следует за ядром, как указано на рисунке. Несмотря на яркость кометы, слабые звезды 11-й и 12-й величин были хорошо видны сквозь нее. Диаметр туманности около 6'.5.

Ноября 13. Проф. Босс в Олбэни (Astr. Journ., № 280), 7^h19^m. Комета кажется очень большой яркой круглой туманностью около 9′ в диаметре, с легким дефектом на крае, следующем к югу, и с хорошо отмеченным центральным сгущением. Ее слабое ядро удлинено приблизительно в позиционном угле 110°.

Ноября 15. Ле Кадэ в Лионе (Astr. Nachr., № 3130). Комета представляется в виде яркой туманности, имеющей форму сегмента эллипса, ориентированного в позиционном угле 150°, высотой в 10′ и такой же ширины сечения; интенсивность света убывает к округленному и достаточно хорошо отграниченному северному краю, вплоть до сечения к югу, где тает очень диффузная туманность. На расстоянии в 4′ от северной вершины и, так сказать, в фокусе эллипсиса, различается удлиненное сгущение в 20″ размером, с продолжением, наклонным к оси эллипсиса, в позиционном угле 120°. Сквозь туманность различаются звезды 12-й величины.

Ноября 17. Л. Босс (Astr. Journ., № 282). Центральное сгущение кажется слабее ноября 17 и 22, чем ноября 13. Окружающая туманность, казавшаяся чрезвычайно прозрачной в две последние даты, была оценена примерно в 10′ в диаметре ноября 17 и в 8′ ноября 22. Все же она казалась замечательно четко отграниченной на северном предшествовавшем крае и в этой части концентрической с центральным сгущением. Ноября 17, как показывают мои заметки с диаграммой, внешняя

туманность казалась весьма дефектной в южной следующей четверти и простирающейся не более чем на две или три минуты от сгущения ядра, со слабыми потоками, 5′ или 6′ длиной, ограничивающими пустоту с обеих сторон.

Ноября 22, 9^h. Вильсон (там же). Яркая часть, следующая за ядром, сильно увеличилась. Позиционный угол 122°.9; длина 15′. Радиус головы в противоположном направлении 5′. Поперечное сечение через ядро, под прямым углом к хвосту, 13′. Во всех вышеприведенных наблюдениях ядро было довольно определенным и около 10-й величины, с небольшим сгущением вокруг, кроме стороны следующей.

Ноября 22. Л. Босс (там же). Очень слабое продолжение туманности было замечено в позиционном угле 120°. Этот придаток, или хвост, можно было проследить приблизительно до 12′ от ядра, и он был, может быть, 8′ шириной.

Декабря 17, 8^h. Вильсон (там же). Комета очень слаба. Ядро туманно, около 12-й величины, со сгущением туманности около 1′ диаметром вокруг него.

Декабря 20. Ловетт в обсерватории Вирджиния. Слаба, и ядро видно с трудом.

1893, января 12. Он же, там же. Комета очень слаба и размыта. Ядро еще видно.

Января 16. Барнард (Astr. and Astroph., № 112) видел, вместо кометы, туманную звезду с диаметром 10″. Ловетт нашел, вместо кометы Холмса, нечто, казавшееся красновато-желтой звездой в тумане. Яркая туманность около 25″ в диаметре.

Января 17. Ловетт. Комета звездообразна. Ядро очень яркое и хорошо очерченное. Цвет желтоватокрасный. Видимость превосходная.

Января 19. Он же. Видима простому глазу. Повидимому, большее сгущение. Изменение в цвете; комета кажется определенно голубоватой.

Января 20. Он же. Ядро звездообразно и столь же ярко, как 17-го; круглая туманность вокруг ядра меньше и слабее.

Января 21. Он же. Комета ярка и голубая и больше размерами. Видимость хорошая.

Л. Босс (Astr. Journ., № 289). Комета была круглой, с сильным центральным сгущением и ярким звездообразным ядром.

Января 23. Он же. Круглая туманность, не столь сгущенная и более неправильной формы, простирающаяся на площадь вдвое большую, чем 16-го.

Января 25. Ядро не так хорошо очерчено. Комета большая и яркая в лунном свете. Становится слабее. Видимость хорошая.

Л. Босс. Комета уже не имеет звездного ядра, но все еще имеет маленькое центральное сгущение. Круглая.

Января 26. Ловетт. Туман и лунный свет. Ядро плохо очерчено.

Января 27. Комета размыта. Очень трудно видеть ядро. Внешний вид почти тот же самый, что и 12-го. Луна и облака. Видимость плохая.

Февраля 4. Кобольд в Страсбурге (Astr. Nachr., № 3155). Комета — довольно яркая туманность, 3′ протяжением, в позиционном углу 70°; в этом направлении она продолжается, по меньшей мере до 5′, как слабый хвост; в предшествующей части туманности находится хорошо выступающее сгущение и ядро 13-й величины.

Итак, видно, что изменения формы и внешнего вида кометы сопровождались новым образованием хвоста, который стал заметен около 4 февраля.

Февраля 12. Деннинг (Astr. and Astroph., April, 1893). Слабый хвост был направлен от головы к северо-востоку, приблизительно в направлении к яркой звезде β Треугольника, которая находилась в одном поле зрения с кометой.

Кэмпбелл (Astr. Nachr., № 3133). Спектр весьма интересной кометы, открытой Холмсом, особого и, вероятно, единственного типа. Визуальные наблюдения, сделанные ноября 8 и 9, показали непрерывный спектр для всех частей кометы. Он простирался примерно от D до G и далее для ядра, для сильно сгущенной и почти круглой комы, около 5′.5 в диаметре, и для

сильно сгущенного хвоста, видимого внутри этой комы. Вне комы, в направлении хвоста, было еле видимо в сильно увеличивающий искатель спектроскопа весьма слабое свечение, которое, вероятно, было бы лучше видно с меньшим увеличением. Оно тоже давало непрерывный спектр, хотя и очень короткий, в желтом и зеленом. Положение максимума яркости спектра было около $\lambda = 515$, что, несомненно, было обязано присутствию легкого следа обычной зеленой полосы. Но, если бы не тот факт, что максимум яркости был выше, чем он обычно бывает в случае непрерывных спектров, он не был бы обнаружен. Увеличение яркости было более заметно в спектре очень слабой части кометы, чем в спектре ее ярких частей. Может быть, был след желтой полосы; но, если это так, он был чрезвычайно слабым.

Фогель (Astr. Nachr., № 3142) находит максимум интенсивности спектра в желто-зеленой части. Он объясняет невидимость кометных полос большим перигельным расстоянием кометы.

Столкновение двух астероидов должно было произвести массу газа, которая, несомненно, давала бы спектр с полосами.

Внимательное изучение всех наблюдений и рисунков нисколько не заставляет отрицать кометную природу светила, открытого Холмсом. Вычисление положения хвоста в плоскости орбиты показало нам, что этот придаток был настоящим хвостом, начало которого совпадало или почти совпадало с продолжением радиуса-вектора ядра.

Эти наблюдения дают нам, между прочим, видимые направления хвоста, выраженные позиционными углами p.

Земля находилась в плоскости орбиты 18 августа (восходящий узел) и 14 февраля (нисходящий узел). Итак, в феврале угол положения не может служить для определения направления хвоста в плоскости орбиты. 4 февраля мы имеем (Кобольд) $p = 70°$, а 12-го (Деннинг) $p = 50°$; таким образом, около 8 февраля $p = 60°$, и в это время позиционный угол продолженного радиуса-вектора был $p = 66°$. Имея в виду большие ошибки в оценках, можно допустить, что хвост совпадал с продолжением радиуса-вектора. В ноябре Земля находилась далеко от

плоскости орбиты, следовательно, углы положения дают более удовлетворительные результаты. Следующая таблица показывает эти позиционные углы, координаты кометы и Солнца:

	Ср. гринич. вр.				p	$\alpha_{ком}$	$\delta_{ком}$
1	1892, ноября	9	$9^h.1$	(Хайн)	120°.0	11°28′.8	+38°18′.8
2		11	16.1	(Вильсон)	120.0	11 12.3	38 4.8
3		13	11.9	(Босс)	110.0	10 59.5	37 54.0
4		18	15.6	(Вильсон)	113.6	10 38.5	37 22.3
5		22	14.6	(Вильсон)	120.0	10 30.8	36 57.0
—		22	14.6	(Босс)	122.9	10 30.8	+36 57.0

	$\alpha_{сол}$	$\delta_{сол}$	$\lg r$	$\lg \rho$	p°
1	225°30′.3	−17°11′.9	0.2779	0.0029	115°50′.3
2	227 51.3	17 49.3	0.2847	0.0192	112 3.0
3	229 49.8	18 18.4	0.2895	0.0321	109 7.2
4	235 3.0	19 32.4	0.3905	0.2139	102 13.1
5	239 10.8	−20 26.2	0.3930	0.2240	97 31.5

С помощью элементов кометы: $i = 19°16'.7$, $\Omega = 325°42'.1$ и $\varepsilon = 23°27'.2$ мы находим: $A = 253°26'.7$, $D = +49°14'.1$.

Среднее арифметическое из пяти положений кометы дает для 15 ноября координаты: $\alpha_{ком} = 10°58'.0$ и $\delta_{ком} = +27°43'.4$.

Для этого положения кометы имеем:

$$G = 338°16'.8, \qquad P = 323°32'.5, \qquad S = 102°59'.3.$$
$$G' = 329\ 8.8, \qquad P' = 226\ 2.7,$$

Среднее значение $p° = 107°.3$, а значение $p = 117°.0$; откуда получаем:

$$u - P' = 173°34', \qquad u° - P' = 170°37', \qquad \varphi = +3°,$$

то есть хвост отклонялся на 3° назад от продолжения радиуса-вектора [96].

Неуверенность в углах положения хвоста заставляет просто предположить, что он совпадал с этим продолжением, следуя,

таким образом, общему закону для начального направления хвостов.

Кроме того, все описания и особенно рисунки показывают нам, что, помимо существования хвоста, форма кометы представляла все особенности, обычно сопровождающие появление и развитие хвоста. Характерные полосы, правда, не были ясно заметны в спектре кометы, однако на месте главной полосы было замечено увеличение яркости, выделяющееся из непрерывного спектра отражения, испускаемого твердыми частицами кометы.

Что касается внезапного увеличения блеска, то важно отметить, что у многих комет кривая блеска показывает очень чувствительные скачки. В числе прочих случаев у кометы Биела, после ее деления, обе части были в 1846 г. попеременно одна ярче другой и вызывали мысль о существовании, так сказать, внутренних действий, возбуждаемых в комете после ее деления.

Случаи деления, подобные тем, которые были у комет 1882 II, 1889 V, может быть, имеют место и у других периодических комет, но со временем они были замаскированы неравными возмущениями со стороны больших планет и стало трудно, почти невозможно, их обнаружить. Близость элементов одна позволяет угадывать родство таких комет. Чтобы составить представление о порядке численных величин разлагающего действия, вообразим, что две кометы, подобные кометам Вольфа и Барнарда, произошли от одной единственной кометы, разделившейся в перигелии от толчка, направленного по касательной к орбите. В этом случае $v = 0$, $\beta = 90°$, $J = \pm 90°$. Элементы комет таковы:

	1	2
$e =$	0.5796	0.05573
$a =$	3.3543	3.5970
$q =$	1.4101	1.5923

Возьмем среднее арифметическое из двух q, равное 1.5012, и, оставляя оси неизмененными, вычислим соответ-

ствующие эксцентриситеты:

$$q = 1.5012 \qquad 1.5012$$
$$e = 0.5524 \qquad 0.5826$$

Цель сделанного нами очевидна читателю. Орбиты теперь пересекаются в перигелии; для средней орбиты находим: $a = 3.4757$, $H^2 = 1.0446$; для кометы 1 $m = 1.5524$ и $H_1^2 = 1.0146$; откуда, наконец, $j = 0.005 = 148$ метров в секунду.

Уходя в прошлое, когда возмущения еще не изменили различным способом элементы, мы нашли бы, я думаю, меньшую величину для j, величину J, не равную 90°, и деление в другой точке орбиты.

Возьмем еще пример: кометы Брукса и Холмса.

$$\lg a = 0.56640 \qquad 0.52526$$
$$\lg e = 9.67275 \qquad 9.59465$$
$$\lg q = 0.29010 \qquad 0.30829$$
$$e = 0.47071 \qquad 0.39323$$

Среднее арифметическое значение q есть $\lg q = 0.29920$; с помощью величин e, данных выше, вычислим большие оси: $\lg a = 0.57551$ и 0.51617. Средняя орбита будет иметь: $\lg q = 0.29920$, $\lg a = 0.54584$. Деление имело место в перигелии; $v = 0$, $J = \pm 90°$, $H^2 = 0.7196$, $m = 1.3932$, $H_1^2 = 0.6995$, и известное уравнение второй степени по отношению к j дает нам $j = 0.01 = 295$ метров в секунду.

Я повторяю: эти вычисления служат только для того, чтобы дать приблизительное представление, может ли подобное деление под двойным действием (притяжения и электротермическим) стать причиной новых комет.

Комета Холмса, как мы видели, представляет замечательный пример развития кинетической энергии, пробужденной действием Солнца на весьма значительных расстояниях и несколько раз. У конца ее хвоста располагалась туманная масса (фотография Барнарда) с диаметром в $0\overset{\circ}{.}5$. Мы видели, что в эту эпоху расстояние Земля — комета равнялось единице

и что объем этой массы был громадный, равный объему Солнца. Невозможно разумным образом отрицать, что подобное развитие энергии, способное испустить огромный объем газов, правда разреженных, было в состоянии произвести деление тела кометы, если не сегодня, то по крайней мере в другое время. Надо подчеркнуть, что это зависит от сцепления частиц и других физико-химических условий, до сих пор неизвестных. Это деление могло сопровождаться уменьшением эксцентриситета для видимой части; орбита же части невидимой (или невидимой до сих пор) должна была стать более эксцентричной.

Туманное скопление около конца хвоста является также показателем перерыва в испускании. Мы знаем несколько примеров такого рода: наиболее поразительные из них представлены облаками Шмидта в комете 1882 II.

У большой кометы 1744 эта прерывистость была правильной и обнаруживалась в хвосте несколькими раздельными полосами синхрон, поперечными по отношению к длине хвоста. Менее ясными казались эти полосы в хвосте большой кометы 1858 V.

Прерывистость в строении хвоста доказывает образование этого придатка путем истечений.

Разные астрономические журналы дают следующее описание фотографий кометы 1893 с (Брукса), сделанных Барнардом.

19 и 20 декабря 1893 г. эта комета имела прямой хвост почти в 4° длиной. Но 22-го хвост был искривлен, закручен и загнут; в его наиболее протяженной части он был разбит на отдельные массы и туманные ядра, имея вид факела, который пылает и дымит, как это бывает при ветре. На следующий день часть оконечности хвоста полностью отделилась и уносилась как независимая комета на расстоянии в 1° от наиболее близкой части хвоста и на расстоянии в 4° или 5° от ядра. Барнард приписывает это явление встрече с сопротивляющейся средой(?).

В английском журнале «Nature» (1894, февраля 8; стр. 349) неизвестный автор следующим образом дополняет это описание: «Увеличение числа таких фотографий, как те, которые были получены с кометы Брукса и с кометы Свифта (1892)

проф. Барнардом, конечно, произведет революцию в ходячих мнениях о развитии и типах кометных хвостов» (?)[97].

Мы можем заметить, что ни одна теория не может покоиться на более или менее счастливых сравнениях и подобиях. История многочисленных теорий кометных форм, выведенных из подобных сравнений, ясно показывает недостаточность этого слишком элементарного приема.

Чтобы объяснить явление, чтобы его построить, нужно тщательно изучать с помощью принципов механики движение частиц хвоста и выводить отсюда вероятные заключения.

Когда я получу упомянутые фотографии или их репродукции, я с живым интересом попытаюсь изучить их с этой точки зрения, чтобы судить, действительно ли должны ходячие мнения испытать глубокую революцию[1].

1894, март.

[B. P.— Mélanges Math., t. VII, nouv. série, IV (XXXVI)]

---

[1] Это намерение было осуществлено в моей заметке: «Mouvement des substances émises par les comètes 1893 II et 1893 IV». Известия Академии Наук, 1895, май, № 5.

ВЕКОВЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ КОМЕТЫ 1862 III И ЕЕ ПРОИЗВОДНЫХ ОРБИТ

Чтобы объяснить рассеяние узлов и разнообразие наклонений в рое Персеид, необходимо, согласно моим теоретическим соображениям, найти различие между величинами вековых возмущений производящей орбиты и орбит метеоров, происшедших от кометы.

В нашем случае главная и преобладающая роль падает на долю действий, произведенных Юпитером; следовательно, мы можем ограничиться этими возмущениями. Для нижеследующих вычислений я пользовался формулами и таблицами Хилла, изложенными в его хорошо известном мемуаре[1][98].

Я излагаю здесь вековые возмущения, вызванные Юпитером в производящей орбите; возмущения производных орбит будут указаны в параграфе 2.

При делении окружности орбиты на части по отношению к эксцентрической аномалии, нужно было взять значительное число этих частей, вследствие большой величины эксцентриситета и наклонения. Для малых планет достаточно делить окружность на 12 частей, во многих случаях на 8, а иногда на 4, чтобы получить очень точные результаты.

---

[1] G. W. Hill. On Gauss's method of computing secular perturbations.

Для нашей кометы расстояние от Солнца нарастает (в афелии) до 49 единиц, и мы получаем для многих выражений неудобно большие величины, влияющие на точность вычисления; ход возмущений становится неправильным с изменением расстояния кометы от Юпитера.

Я разделил окружность на 36 частей через 10°, но даже при этом выяснилось, каким скачком вблизи от места минимального расстояния между двумя орбитами подвержены значения возмущений. Подобные скачки обнаруживаются также во время вычислений в соответствующих промежуточных величинах. По этой причине суммы величин на четных и нечетных местах не могут быть строго равными, отчего этот очень удобный критерий точности вычисления становится приблизительным.

Наша цель не требует совершенно точных результатов, и нам почти хватило бы знания порядка величины возмущений.

Большей точности можно было бы ожидать, разделяя окружность по соседству с критическим местом на меньшие дуги, например через 2°. В других частях окружности, где ход величин более правилен, интерполяция позволяет удобно заполнить эти промежутки. Тогда критерий приобретает вновь свою эффективность.

Наши вычисления дали следующие суммы величин на четных и нечетных местах:

	A	B^2	$G+G''$	$G'+G''$
Четные	16604.08	347068.5	16303.0	301.6
Нечетные	16604.09	347068.9	16301.5	303.2

	N	P	Q	J_1	J_2
Четные	21.28	0.014	0.489	341.5	92.43
Нечетные	22.96	0.018	0.714	348.2	102.44

	J_3	R_0	S_0	W_0
Четные	—7.63	—17.96	—2.10	0.115
Нечетные	—6.52	—20.82	—2.91	0.364

	U	$W_0 \cos u$	$W_0 \sin u$
Четные	—6.666	+0.226	+0.323
Нечетные	—5.729	+0.476	+0.363

Элементы кометы 1862 III и Юпитера для 1850.0 таковы:

Комета	Юпитер
$n = 10458''.209$	$n' = 109256''.648$
$e = 0.9612708$	$e' = 0.0482519$
$\pi = 290°11'17''$	$\pi' = 11°54'58''$
$i = 113\ 34\ 33$	$i' = 1\ 18\ 41$
$\Omega = 137\ 25\ 50$	$\Omega' = 98\ 56\ 17$
$\omega = 152\ 45\ 27$	$\omega' = 272\ 58\ 41$
$\lg a = 1.3954263$	$\lg a' = 0.7162371$

n и n' — средние годовые движения, причем юлианский год взят за единицу.

Масса Юпитера $m' = 0.000954928$.

Для вспомогательных величин, зависящих от элементов обеих орбит, находим:

$$I = 112°32'49'',\quad K = 0°25'44'',\quad \lg k = 9.8167359,$$
$$\Pi = 331\ 52\ 26,\quad K' = 226\ 45\ 19,\quad \lg k' = 9.9277664,$$
$$\Pi' = 54\ 49\ 54,\quad C = 0.0630236.$$

Если мы напишем:

$$\alpha = a'^2 \cos^2 \varphi',\qquad \pi = \frac{a'}{a} e' \sin I \sin \Pi,\qquad \sigma = a'^2,$$
$$\beta = \sin^2 I,\qquad \eta = a'^2 \sin \varphi' \cos \varphi' \cos I,\qquad \tau = ka',$$
$$\gamma = ka'e',\qquad \lambda = \frac{a'^2}{\alpha} \sin \varphi' \cos \varphi' \sin I,\qquad \nu = a'^2 e',$$
$$\delta = \frac{1}{2} a'^2 \cos^2 \varphi' \sin^2 I,\qquad \rho = 2ka'e',\qquad \psi = k'a' \cos \varphi',$$
$$\mu = \frac{a'^2}{a} \cos^2 \varphi' \sin I \cos I,$$

то получаем:

$$\lg \alpha = 1.4314618,\quad \lg \pi = 7.6431954n,\quad \lg \tau = 0.5329730,$$
$$\lg \beta = 9.9309356,\quad \lg \eta = 9.6991801n,\quad \sigma = 27.0691250,$$
$$\lg \gamma = 9.2164874,\quad \lg \lambda = 8.6855239,\quad \nu = 1.3061366,$$
$$\lg \delta = 1.0613674,\quad \lg \rho = 9.5175174,\quad \lg m'n \cos \varphi = 0.4397143,$$
$$\lg \mu = 9.5852010n,\quad \lg \psi = 0.6434973,\quad \lg m'n \sec \varphi = 1.5591411.$$

Пусть будет еще

$$U = -\cos v \cdot R_0 + (r : a \cos^2 \varphi + 1) \sin v \cdot S_0 .$$

Результаты вычислений фигурируют в следующих таблицах:

E	v	lg r	A	lg B
0°	0° 0′ 0″	9.9834648	28.31274	0.7428068
10	63 48 42	0.1224251	29.01612	0.8039045
20	102 53 38	0.3808559	32.66389	0.7304700
30	124 39 4	0.6194803	43.61773	0.8683082
40	137 46 42	0.8164107	68.39664	1.1911567
50	146 27 32	0.9776121	114.6536	1.4400346
60	152 38 28	1.1108985	189.9266	1.6272603
70	157 18 16	1.2222947	300.3345	1.7741775
80	160 59 8	1.3161119	449.3765	1.8930040
90	164 0 6	1.3954266	636.9934	1.9909129
100	166 33 0	1.4624687	859.0388	2.0723931
110	168 45 39	1.5188776	1107.213	2.1404197
120	170 43 24	1.5658745	1369.503	2.1970470
130	172 30 7	1.6043762	1631.088	2.2437381
140	174 8 38	1.6350701	1875.611	2.2815507
150	175 41 14	1.6584667	2086.702	2.3112573
160	177 9 40	1.6749335	2249.543	2.3334174
170	178 35 28	1.6847179	2352.326	2.3484174
180	180 0 0	1.6879639	2387.464	2.3565123
190	181 24 32	1.6847179	2352.331	2.3578316
200	182 50 20	1.6749335	2249.555	2.3523970
210	184 18 46	1.6584667	2086.719	2.3401182
220	185 51 22	1.6350701	1875.633	2.3207910
230	187 29 53	1.6043762	1631.113	2.2940764
240	189 16 36	1.5658745	1369.533	2.2594853
250	191 14 21	1.5188776	1107.245	2.2163279
260	193 27 0	1.4624687	859.0721	2.1636572
270	195 59 54	1.3954266	637.0272	2.1001663
280	199 0 52	1.3161119	449.4097	2.0240208
290	202 41 44	1.2222947	300.3662	1.9325826
300	207 21 32	1.1108985	189.9558	1.8218865
310	213 32 28	0.9776121	114.6795	1.6856019
320	222 13 18	0.8164107	68.41835	1.5127046
330	235 20 56	0.6194803	43.63461	1.2815062
340	257 6 22	0.3808559	32.67544	0.9442391
350	296 11 18	0.1224251	29.02199	0.5735720

ε	ϑ	G	G′	G″
326° 5′25″	—83°51′13″	27.18938	1.08074	0.02039
300 55 23	81 40 47	27.54552	1.45449	0.04691
263 46 9	85 23 0	31.75370	0.90954	0.06236
201 45 45	85 34 14	42.33126	1.23252	0.00909
171 33 38	81 19 29	64.67111	3.66386	0.00136
159 42 20	80 0 15	107.6066	6.99160	0.00757
153 34 25	81 32 47	179.9435	9.9325	0.0124
149 46 21	83 32 32	288.0660	12.2214	0.0159
147 8 15	85 8 2	435.3442	13.9876	0.0182
145 10 4	86 15 55	621.5649	15.3851	0.0201
143 36 48	87 2 52	842.4730	16.5249	0.0230
142 20 3	87 35 21	1089.694	17.482	0.026
141 14 45	87 58 0	1351.164	18.304	0.028
140 17 36	88 13 50	1612.030	19.021	0.026
139 26 23	88 24 43	1855.909	19.669	0.029
138 39 26	88 31 50	2066.411	20.261	0.034
137 55 36	88 36 8	2228.710	20.798	0.028
137 13 54	88 37 48	2330.983	21.318	0.037
136 33 33	88 37 12	2365.632	21.799	0.031
135 53 51	88 34 6	2330.031	22.270	0.033
135 14 10	88 28 15	2226.799	22.726	0.033
134 33 50	88 19 0	2063.512	23.174	0.030
133 52 9	88 5 10	1851.977	23.628	0.035
133 8 20	87 44 58	1607.006	24.081	0.038
132 21 24	87 15 25	1344.972	24.530	0.032
131 30 8	86 31 2	1082.224	24.994	0.035
130 32 53	85 22 37	833.5829	25.4631	0.0382
129 27 21	83 32 25	611.0722	25.9305	0.0386
128 10 3	80 24 50	423.0056	26.3800	0.0390
126 35 34	74 42 3	273.5711	26.7730	0.0407
124 34 33	63 16 53	162.9346	27.0009	0.0427
121 49 28	—38 16 10	87.95971	26.70242	0.04561
117 42 2	+ 6 1 32	44.71327	23.69150	0.04949
110 27 28	—29 21 36	32.32811	11.29891	0.05531
93 1 23	76 26 55	30.10609	2.56919	0.06290
27 10 40	—87 35 49	28.53100	0.44258	0.01458

θ	lg 𝔎	lg 𝔏′	lg 𝔑	lg N
11°36′19″	0.0134898	0.2909471	0.1962679	9.223758
13 29 22	0.0182877	0.2973105	0.2034162	9.497379
10 3 57	0.0101248	0.2864787	0.1912458	9.913293
9 51 37	0.0097127	0.2859305	0.1906302	0.203968
13 46 20	0.0190729	0.2983509	0.2045847	0.331241
14 46 31	0.0219971	0.3022234	0.2089329	0.324843
13 35 47	0.0185826	0.2977013	0.2038551	0.253057
11 53 39	0.0141772	0.2918594	0.1972929	0.164919
10 19 57	0.0106725	0.2872059	0.1920636	0.080046
9 3 27	0.0081869	0.2839021	0.1883501	0.004216
8. 3 23	0.0064693	0.2816176	0.1857818	9.938481
7 16 55	0.0052809	0.2800363	0.1840037	9.882490
6 41 20	0.0044531	0.2789345	0.1827646	9.835553
6 14 25	0.0038743	0.2781637	0.1818978	9.796983
5 54 48	0.0034780	0.2776359	0.1813043	9.766199
5 41 15	0.0032168	0.2772880	0.1809131	9.742741
5 32 50	0.0030598	0.2770789	0.1806779	9.726265
5 29 33	0.0029996	0.2769987	0.1805877	9.716543
5 30 45	0.0030215	0.2770278	0.1806205	9.713446
5 36 52	0.0031346	0.2771784	0.1807899	9.716945
5 48 8	0.0033482	0.2774631	0.1811100	9.727110
6 5 14	0.0036861	0.2779130	0.1816160	9.744126
6 29 25	0.0041918	0.2785865	0.1823735	9.768293
7 2 13	0.0049304	0.2795696	0.1834789	9.800067
7 45 59	0.0060100	0.2810065	0.1850947	9.840100
8 44 50	0.0076326	0.2831650	0.1875214	9.889317
10 4 23	0.0101378	0.2864953	0.1912651	9.948950
11 53 47	0.0141826	0.2918665	0.1973008	0.021282
14 28 18	0.0210891	0.3010212	0.2075832	0.109160
18 14 35	0.0338114	0.3178305	0.2264453	0.218125
24 2 19	0.0597702	0.3519132	0.2646178	0.358803
33 27 24	0.1206790	0.4307946	0.3525718	0.554566
46 44 29	0.2576714	0.6031056	0.5426236	0.809543
36 18 30	0.1444041	0.4611248	0.3862363	0.513307
17 10 48	0.0299044	0.3126759	0.2206635	9.967701
7 16 14	0.0052643	0.2800142	0.1839789	9.462232

lg P	lg Q	lg V	lg J_1
6.645254 (—10)	7.985300 (—10)	7.984887 (—10)	1.340588
6.913110	8.260005	8.259092	1.283628
7.194479	8.601892	8.600831	0.749973
7.236389	8.767843	8.767727	0.631156
7.008153	8.725106	8.725095	0.818054
6.563327	8.501907	8.501867	0.962211
6.040426	8.201746	8.201725	1.056096
5.537746	7.902696	7.902710	1.119908
5.089550	7.633259	7.633266	1.165741
4.701117	7,399065	7.399050	1.200312
4.368963	7.198695	7.198657	1.227492
4.087896	7.029179	7.029179	1,249570
3.853053	6.887601	6.887601	1.267995
3.660387	6.771501	6.771501	1.283684
3.506708	6.678940	6.678940	1.297511
3.389581	6.608430	6.608430	1.309890
3.307226	6.558884	6.558884	1.320894
3.258449	6.529584	6.529584	1.331333
3.242568	6.520114	6.520114	1.340799
3.259388	6.530367	6.530367	1.349917
3.309199	6.560533	6.560533	1.358620
3.392812	6.611128	6.611128	1.366998
3.511592	6.683022	6.683022	1.375348
3.667581	6.777519	6.777519	1.383547
3.863659	6.896471	6.896471	1.391528
4.103820	7.042508	7.042508	1.399628
4.393377	7.219181	7.219181	1.407654
4.740909	7.432463	7.432488	1.415440
5.157409	7.690357	7.690285	1.422712
5.661686	8.007435	8.007364	1.428790
6.286462	8.411294	8.411165	1.432082
7.096343	8.962629	8.962360	1.428889
8.110814	9.701249	9.700697	1.409753
7.953787	9.389221	9.388339	1.347153
7.321255	8.708804	8.707681	1.144769
6.831168 (—10)	8.190672 (—10)	8.190388 (—10)	0.603312

lg J_2	lg J_3	lg F_2	lg F_3	lg R_0
0.981279	9.252088	0.188532n	9.103766	8.52892
1.030104n	9.462116n	0.436500n	9.454948	7.90849
0.736756n	9.937982n	0.427077n	9.213789	9.80010n

lg J_2	lg J_3	lg F_2	lg F_3	lg R_0
0.499914	0.180544n	0.136581n	8.797924n	0.15259n
0.903887	0.339563n	0.056957	9.386451	0.29874n
1.020234	0.450240n	0.679350	0.319626	0.31042n
1.068830	0.526331n	0.974847	0.825383	0.24743n
1.090662	0.574288n	1.175301	1.184475	0.16265n
1.099406	0.597122n	1.326684	1.461777	0.07900n
1.100737	0.595685n	1.446862	1.684654	0.00372n
1.097306	0.568978n	1.544797	1.867555	9.93817n
1.090450	0.513676n	1.625680	2.019148	9.88230n
1.080877	0.422487n	1.692788	2.145037	9.83550n
1.068969	0.279044n	1.748322	2.249055	9.79692n
1.054934	0.037761n	1.793810	2.333889	9.76612n
1.038862	9.443735n	1.830351	2.401486	9.74265n
1.020793	9.677611	1.858725	2.453227	9.72616n
1.000699	0.048276	1.879490	2.490098	9.71642n
0.978492	0.206239	1.893032	2.512765	9.71332n
0.954017	0.284423	1.899586	2.521614	9.71692n
0.927009	0.315162	1.899265	2.516796	9.72705n
0.897029	0.311074	1.892064	2.498232	9.74414n
0.863372	0.278223	1.877861	2.465608	9.76827n
0.824914	0.220137	1.856400	2.418343	9.80003n
0.779731	0.140156	1.827289	2.355569	9.84004n
0.724547	0.043482	1.789949	2.276028	9.88925n
0.653251	9.940487	1.743571	2.177978	9.94890n
0.553206	9.849710	1.687028	2.058996	0.02119n
0.392196	9.795023	1.618738	1.915679	0.10904n
0.038079	9.789920	1.536420	1.743105	0.21796n
9.833982n	9.823671	1.436665	1.533868	0.35862n
0.482553n	9.870124	1.314031	1.276045	0.55314n
0.790425n	9.904621	1.159019	0.948496	0.73635n
0.997263n	9.908004	0.952394	0.507234	9.77129n
1.071629n	9.859236	0.642814	9.827131	9.54133n
9.988372n	9.713912	9.932433	7.570301	9.37033n

lg S_0	lg W_0	U	$W_0 \cos u$	$W_0 \sin u$
8.96284	7.25527	—0.0338	—0.0016	+0.0008
9.29403n	7.70757n	—0.3042	+0.0041	+0.0030
9.34596n	8.53403n	—0.6323	+0.0085	+0.0331
9.26198	8.94890n	—0.3259	—0.0115	+0.0882
9.63022	9.06408n	—0.1911	—0.0407	+0.1085
9.52427	8.94841n	—0.5891	—0.0433	+0.0775
9.27277	8.72263n	—0.8950	—0.0306	+0.0430
8.99564	8.46982n	—0.9660	—0.0190	+0.0226
8.73480	8.22011n	—0.9224	—0.0115	+0.0119
8.49969	7.99564n	—0.8462	—0.0072	+0.0068
8.29667	7.77085n	—0.7681	—0.0045	+0.0038
8.12057	7.54407n	—0.7004	—0.0027	+0.0022
7.96848	7.30103n	—0.6450	—0.0016	+0.0012
7.83885	7.04139n	—0.6010	—0.0009	+0.0006
7.73239	6.69897n	—0.5675	—0.0004	+0.0003
7.64345	6.00000n	—0.5430	—0.0001	+0.0001
7.57978	6.30103	—0.5268	+0.0002	—0.0001
7.53148	6.60206	—0.5181	+0.0004	—0.0002
7.50515	6.77815	—0.5168	+0.0005	—0.0003
7.49136	6.90309	—0.5229	+0.0007	—0.0003
7.49136	6.95424	—0.5367	+0.0008	—0.0004
7.50515	6.95424	—0.5592	+0.0008	—0.0004
7.54407	7.00000	—0.5919	+0.0009	—0.0004
7.60206	7.04139	—0.6372	+0.0010	—0.0004
7.67210	7.11394	—0.6983	+0.0012	—0.0004
7.77085	7.14613	—0.7813	+0.0013	—0.0004
7.88081	7.25527	—0.8935	+0.0017	—0.0004
8.00000	7.39794	—1.0483	+0.0025	—0.0005
8.10380	7.63347	—1.2648	+0.0043	—0.0006
8.10380	7.94448	—1.5721	+0.0088	—0.0007
8.08991n	8.37658	—1.9839	+0.0238	+0.0000
9.40295n	8.96142	—2.1361	+0.0909	+0.0100
0.46422n	9.71399	+4.7042	+0.5000	+0.1338
0.37096n	9.35545	+5.8592	+0.2000	+0.1068
9.77262n	8.58320	+1.2351	+0.0247	+0.0293
8.16137n	7.90309	+0.1256	+0.0001	+0.0080

Эти таблицы приводят к следующим величинам годовых изменений элементов (за юлианский год):

$\delta\Omega = +0''.7534$, $\delta i = +0''.7062$, $\delta\pi = -0''.534$, $\delta\omega = -1''.287$.

Для δe получаем приближенную величину $+0.0000003$.

Итак, изменения Ω и i — одного и того же порядка. За 4800 лет узел уходит вперед на 1°. Прибавим действие Сатурна, которое будет не больше 0″.2, и мы получим перемещение узла в прямом направлении, равное 1° за 3800 лет [99]. Знак изменения наклонения показывает вековое увеличение тупого угла этого наклонения.

2

Достаточно для нас рассмотреть возмущения производных орбит, находящихся в плоскости кометной орбиты. Возмущения элементов ядра кометы очень малы, поэтому не стоит заниматься производными орбитами, соседними с орбитой кометы, и можно прямо перейти к орбитам, произведенным наиболее значительными импульсами из ядра и наиболее приближающимся поэтому к орбите Юпитера. Заключения по поводу промежуточных орбит и орбит с бо́льшим или меньшим наклонением, чем орбита ядра, не будут затруднительны. Так как возмущения производных орбит, заключающихся между эллипсисом ядра и параболой, очень слабы, то их легко оценить.

Наиболее сильное возмущающее действие Юпитера испытывают те орбиты, параметры которых позволяют проходить через сферу действия планеты. Однако эти орбиты имеет лишь незначительная часть общего числа метеоров, и они вызывают только некоторые особенности — скорее случайные, так сказать,— в размерах и форме площадей радиации; по поводу этих особенностей будет достаточно сделать позже несколько общих замечаний.

Так, возьмем сначала производную орбиту, которая может проходить на малом расстоянии, например $\Delta = 0.336$, от Юпитера,— за планетой по отношению к Солнцу,— но не проникает в ее сферу деятельности, даже в случае наибольшего расстояния между планетой и Солнцем ($r' = 5.454$). Отнюдь не

изменяя элементов ядра i, π, ☊ и q, мы будем иметь для нашей орбиты:

$$\lg n = 5.1044499, \qquad \lg a = 0.6720979,$$
$$\lg e = 9.9400668, \qquad \omega = \pi - ☊ = 152^\circ 45' 27''.$$

Постоянные, входящие в наше вычисление, остаются те же самые, что и для ядра, за исключением следующих величин

$$\lg \mu = 0.30853\text{n}, \qquad \lg m'n \cos \varphi = 1.86716,$$
$$\lg \pi = 8.36652\text{n}, \qquad \lg m'n \sec \varphi = 3.30168.$$
$$\lg \lambda = 9.40885,$$

Возьмем еще вторую производную орбиту, которая может проходить через плоскость эклиптики между орбитой Юпитера и Солнца, но не проникает в сферу действия планеты, даже на ее наименьшем расстоянии от Солнца ($r' = 4.952$); пусть $\Delta =$ $= 0.359$ — минимальное расстояние между двумя орбитами. Для этой орбиты (остальные элементы остаются те же самые) будем иметь:

$$\lg n = 5.32349, \qquad \lg m'n \sec \varphi = 2.45785,$$
$$\lg a = 0.52607, \qquad \lg \mu = 0.45456\text{n},$$
$$\lg e = 9.85329, \qquad \lg \pi = 8.51255\text{n},$$
$$\lg m'n \cos \varphi = 2.14907, \qquad \lg \lambda = 9.55488.$$

Разделим окружность орбиты через 15° по отношению к эксцентрической аномалии, то есть на 24 части.

Кроме вычисления двух производных орбит, я сделал еще грубые вычисления для нескольких промежуточных значений — между орбитой ядра и нашей первой производной орбитой, не деля окружность на 24 части, а взяв только несколько характерных точек, чтобы иметь представление о ходе возмущений с изменением n.

Подробности вычисления для первой производной орбиты приводятся в следующих таблицах:

E	v	lg r	A	lg B
0°	0° 0′ 0″	9.9834648	28.31274	0.7428078
15	42 35 17	0.0374221	28.51959	0.7966670
30	76 50 53	0.1653491	29.31664	0.7636109
45	101 36 29	0.3132953	31.16031	0.6768026
60	119 20 27	0.4519891	34.62266	0.6625877
75	132 28 55	0.5720231	40.16542	0.8673077
90	142 40 21	0.6720913	47.92099	1.0793538
105	150 56 21	0.7533763	47.54968	1.2406029
120	157 55 48	0.8174779	68.20639	1.3608807
135	164 4 15	0.8658565	78.65495	1.4503302
150	169 39 25	0.8996373	87.48549	1.5153531
165	174 54 27	0.9196017	93.39849	1.5598368
180	180 0 0	0.9262065	95.48028	1.5860897
195	185 5 33	0.9196017	93.40213	1.5953413
210	190 20 35	0.8996373	87.49251	1.5879943
225	195 55 45	0.8658565	78.66488	1.5636930
240	202 4 12	0.8174779	68.21855	1.5212487
255	209 3 39	0.7533763	57.56325	1.4583830
270	217 19 39	0.6720913	47.98471	1.3711660
285	227 31 5	0.5720231	40.17900	1.2529048
300	240 39 33	0.4519891	34.63482	1.0918364
315	258 23 31	0.3132953	31.17024	0.8693854
330	283 9 7	0.1653491	29.32367	0.6096286
345	317 24 43	0.0374221	28.52323	0.6104220

ε	ϑ	G	G'	G''
326° 5′ 25″	—83°51′14″	27.1894	1.0808	0.0204
310 0 17	81 46 24	27.0729	1.4214	0.0377
292 26 2	83 17 26	28.1197	1.1882	0.0543
268 5 57	86 1 1	30.4182	0.7421	0.0629
220 37 26	87 17 8	34.0015	0.5866	0.0284
181 42 3	84 47 10	38.7677	1.3349	0.0001
163 36 30	79 4 57	44.7013	3.1619	0.0051
154 10 42	72 19 52	51.6977	5.8011	0.0122
148 16 20	66 10 42	59.3321	8.8290	0.0175
144 3 12	61 9 55	66.7429	11.8709	0.0219
140 44 34	—56 52 30	72.7379	14.7098	0.0253

ε	ϑ	G	G′	G″
137°57′ 6″	−52°27′ 4″	76.0957	17.2681	0.0285
135 27 20	46 52 35	75.9051	19.5440	0.0310
133 6 17	38 53 31	71.8079	21.5651	0.0339
130 46 53	26 38 51	64.1101	23.3549	0.0361
128 22 19	− 7 3 0	53.7140	24.9270	0.0390
125 44 34	+24 59 51	41.9291	26.2670	0.0421
122 42 11	71 16 0	30.5929	26.9521	0.0440
118 55 57	+32 14 33	28.8313	19.1387	0.0483
113 47 55	−24 24 8	29.2117	10.9571	0.0528
105 48 0	61 17 28	29.4531	5.1771	0.0585
90 25 23	79 52 37	29.3000	1.8703	0.0630
52 29 21	86 53 23	28.7479	0.5541	0.0412
355 5 48	−87 8 12	27.9292	0.5316	0.0006

θ	lg 𝔎	lg 𝔏′	lg 𝔑	lg *N*
11°36′20″	0.013491	0.290948	0.196270	8.500432
13 24 52	0.018083	0.297038	0.203111	8.615317
12 7 21	0.014732	0.292597	0.198121	8.842755
9 21 10	0.008733	0.284628	0.189166	9.081376
7 43 33	0.005947	0.280923	0.185001	9.284232
10 41 40	0.011440	0.288224	0.193209	9.444878
15 26 9	0.024043	0.304929	0.211971	9.564769
20 33 15	0.043202	0.330192	0.240302	9.651692
22 42 39	0.053106	0.343190	0.254857	9.700033
24 57 52	0.064681	0.358329	0.271793	9.731670
26 44 39	0.074746	0.371448	0.286451	9.753251
28 28 6	0.085308	0.385169	0.301767	9.774325
30 30 44	0.098907	0.402769	0.321388	9.802746
33 15 5	0.119074	0.428735	0.350283	9.845808
37 8 50	0.151912	0.470678	0.396822	9.912530
42 57 43	0.211277	0.545494	0.479410	0.019484
52 20 51	0.340446	0.704167	0.652698	0.213077
69 50 4	0.778083	1.209291	1.188459	0.727565
54 35 48	0.379258	0.750852	0.703196	0.204653
37 50 0	0.158238	0.478712	0.405716	9.774871
24 54 37	0.064388	0.357946	0.271364	9.435475
14 52 5	0.022279	0.302596	0.209351	9.119268
8 16 4	0.006815	0.282077	0.186299	8.820769
7 56 4	0.006274	0.281358	0.185490	8.584114

lg P	lg Q	lg V	lg J_1
5.921930 (—10)	7.261977 (—10)	7.26245 (—10)	1.34058
6.046077	7.385289	7.38561	1.40835
6.235654	7.591027	7.58995	1.14769
6.397942	7.786511	7.78533	0.77053
6.501433	7.937372	7.93702	0.60308
6.556160	8.049616	8.04961	0.73133
6.568958	8.126370	8.12637	0.90043
6.554736	8.178420	8.17842	1.03129
6.496387	8.181472	8.18147	1.12802
6.440903	8.178915	8.17891	1.20112
6.400875	8.177790	8.17779	1.25808
6.396448	8.194569	8.19457	1.30365
6.444619	8.243686	8.24353	1.34079
6.561787	8.339713	8.33945	1.37132
6.768868	8.502182	8.50188	1.39607
7.104172	8.768491	8.76812	1.41525
7.671346	9.242826	9.24232	1.42800
8.964364	0.429778	0.42912	1.43207
8.034323	9.447258	9.44646	1.42267
7.320901	8.714246	8.71332	1.38951
6.853435	8.236846	8.23578	1.30968
6.486264	7.860819	7.85974	1.12860
6.184390	7.547840	7.54654	0.74427
5.973336	7.323536	7.32428	0.81185

lg J_2	lg J_3	lg F_2	lg F_3	lg R_0
0.98128	9.97543	0.18853n	9.82709	7.81954
0.73626n	9.72123n	0.38007n	0.11318	8.24304
1.04865n	0.34005n	0.42861n	0.12299	8.29226n
0.77436n	0.59274n	0.37574n	9.85251	8.94988n
9.95075	0.74614n	0.17541n	8.66339n	9.21165n
0.77693	0.84721n	9.03896n	8.71500n	9.36754n
0.96234	0.91305n	0.22909	0.22935	9.48144n
1.03896	0.95161n	0.57884	0.77581	9.57264n
1.06922	9.36996n	0.78095	1.11439	9.63488n
1.07314	0.33218	0.91817	1.35023	9.67979n
1.05862	0.66288	1.01580	1.51884	9.71206n
1.02811	0.83221	1.08493	1.63671	9.74044n
0.98076	0.80876n	1.13127	1.71258	9.77342n

lg J_2	lg J_3	lg F_2	lg F_3	lg R_0
0.91186	0.69986n	1.15791	1.75110	9.81875n
0.80991	0.54003n	1.16639	1.75444	9.88610n
0.64509	0.27942n	1.15719	1.72280	9.99264n
0.30166	9.60938n	1.12980	1.65452	0.18949n
9.92169n	9.97081	1.08261	1.54560	0.71632n
0.61384n	0.31027	1.01245	1.38859	9.63979
0.88484n	0.45422	0.91349	1.16982	9.01787
1.03552n	0.51651	0.77429	0.86182	8.03342n
1.06655n	0.52085	0.56855	0.39717	8.67943n
0.77700n	0.46633	0.20821	9.49549	8.68753n
0.84886	0.32656n	9.24144n	8.50741	8.41162n

lg S_0	lg W_0	U	$W_0 \cos u$	$W_0 \sin u$
8.24055	7.25527	—0.0066	—0.0016	+0.0008
8.13033n	7.07918n	—0.0278	+0.0012	+0.0003
8.64345n	7.91908n	—0.0746	+0.0054	+0.0063
8.56703n	8.37475n	—0.0971	+0.0064	+0.0228
7.85733	8.68305n	—0.0632	—0.0018	+0.0482
8.82672	8.89708n	—0.0010	—0.0207	+0.0761
9.09096	9.03703n	+0.0372	—0.0468	+0.0984
9.22115	9.12320n	+0.0192	—0.0737	+0.1105
9.25527	6.69897	—0.0751	+0.0003	—0.0004
9.25768	8.58659	—0.1993	+0.0282	—0.0264
9.24279	8.88986	—0.3313	+0.0615	—0.0473
9.23045	9.06856	—0.4602	+0.0989	—0.0626
9.23401	8.99300n	—0.5935	—0.0875	+0.0450
9.26387	8.94890n	—0.7509	—0.0823	+0.0335
9.32960	8.88536n	—0.9713	—0.0735	+0.0223
9.44279	8.64836n	—1.3447	—0.0436	+0.0087
9.61616	9.14829	—2.1790	+0.1401	+0.0127
0.05258n	0.75946	—2.2024	+0.7444	+0.1824
0.01607n	9.92215	+2.6875	+0.8230	+0.1464
9.57887n	9.25066	+0.9541	+0.1671	+0.0617
9.26150n	8.79029	+0.4147	+0.0515	+0.0340
8.92065n	8.39445	+0.1691	+0.0156	+0.0193
8.32015n	8.01703	+0.0487	+0.0025	+0.0101
8.17319	7.65321	+0.0026	—0.0016	+0.0042

Эти таблицы показывают нам годичные вековые возмущения элементов первой метеорной орбиты:

$\delta\Omega = +7''.12$; $\delta i = +56''.03$; $\delta\pi = -15''.20$; $\delta\omega = -22''.32$; $\delta e = +0.000009$.

По менее точным вычислениям получим для второй метеорной орбиты:

$\delta\Omega = +8''$; $\delta i = -2$; $\delta\pi = -6$; $\delta e = -0.000103$; $\delta\omega = -14''$.

Внимательное рассмотрение особенностей явления и его громадной площади радиации заставляет признать, что эти обычные возмущения достаточны только для главного радианта (10.5 августа); что касается других дней, в особенности до этой эпохи, их потоки указывают на возмущения более сильные и в другую сторону ($\delta\Omega$) и обязывают нас искать их ближе к Юпитеру, иначе говоря, в его сфере деятельности (см. выше заметку о рассеянии радиантов и особенно последнюю заметку настоящего сочинения).

Вернемся теперь к значениям Ω, i и ω, выведенным из наблюдений около 2000 метеоров (см. выше заметки о Персеидах).

Наиболее надежным элементом является положение узла, так как самый факт наблюдения метеоров в заданную дату и час указывает точно на величину Ω. Другие элементы получаются довольно грубыми, особенно если мы удаляемся от эпохи явления (10 августа), когда радиация наиболее сгущена. Во всех наших исследованиях поэтому нельзя ожидать большего согласия, чем в пределах порядка величин, особенно для времени до эпохи максимума (10 августа), так как тогда радиация бедна. Нужно сделать еще серьезное замечание по поводу наблюдений Персеид, длительность которых столь велика. Так как центр радиации в эпоху явления (10 августа) имеет координаты 45°,+57°, то наблюдатель обращает свое поле зрения преимущественно в эту область неба; это — источник ошибок. Кроме того, он отдает предпочтение метеорам, движущимся сверху вниз. Все наши карты, на которых нанесены наблюдения,

показывают это. Таким образом, склонение, а следовательно, и широта радиантов еще менее точна, чем долгота. Но легко показать, что ошибка в 1° по широте влечет ошибку в 1°.6 в i и в 0°.7 в ω. Поэтому наклонение является наименее надежным элементом [100].

1895, август, ноябрь.
(Известия Академии Наук, 1895, т. III, № 3, и 1896, т. IV, № 1)

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ОРБИТЫ АКВАРИД

Среди сложных метеорных потоков, то есть усложненных возмущениями со стороны главных планет, большой интерес представляет поток Акварид, явление которого тянется 25 дней — с 28 июля по 21 августа. Мы еще не имеем значительного числа наблюдений точек радиации этой системы, но существующих наблюдений уже достаточно, чтобы представить себе происхождение орбит этих метеоров и дать оценку изменениям, усложнившим систему.

Мы можем использовать в нашем исследовании наблюдения, опубликованные Деннингом. Деннинг приводит вкратце свои радианты, не указывая размеров площади радиации. В настоящее время больше нет сомнений, что эта площадь обычно имеет диаметр в несколько градусов. Поэтому нужно видеть в радиантах Деннинга как бы центры площадей радиации; но там, где радиация бедна, и где, следовательно, чтобы определить радиант, мы имеем только малое число метеоров, полученный радиант может относиться не к центру, но к некоторой другой точке площади радиации. Наблюдения нескольких лет, сделанные в одну и ту же дату, при тех же самых остальных условиях, и относящиеся, вероятно, к различным точкам, рассеянным по площади радиации, могут дать как среднее арифметическое радиант центра радиации.

Для 28 июля — эпохи, в которую начинается явление Акварид, Деннинг указывает точки радиантов для 1878, 1879,

1883 и 1887 гг.; числа метеоров в каждом из этих радиантов соответственно равны: 54, 14, 18 и 37, в общем 123.

Мы скоро увидим, каковы различия в элементах орбит метеоров, найденные вычислением для каждой из этих групп по отдельности, и каковы вероятные ошибки их средних результатов, несмотря на то, что для этой даты отмечено 123 метеора. Для других дат число метеоров меняется между 16 и 3, и в этих радиантах Деннинг иногда даже объединяет наблюдения нескольких соседних дней.

В таких случаях бесполезно отыскивать степень точности радианта и даваемых им элементов.

Единственная точная величина в подобных радиантах — это долгота узла, определяемая самим фактом наблюдений метеоров в указанную дату.

К координатам радиантов α и δ, опубликованным Деннингом, я добавляю их долготы и широты l и b. Таким образом, имеем:

Год	Дата		Число метеоров	α	δ	l	b	λ
1883	Июля	28	18	337°	—11°	—	—	—
1887		28	37	337	12	—	—	—
1879		28	14	338	14	—	—	—
1878		28	54	341	13	335°15′	—3°8′	125°35′
1889		31	6	336	13	333 1	2 47	128 50
1888	Августа	2	3	336	11	333 45	0 56	130 59
1887		4	4	340	13	336 39	4 14	132 40
1877		10	6	342	12	338 51	—4 2	138 25
1887		14	5	335	10	333 12	+0 22	141 48
1879		21	16	339	—10	336 52	—1 5	148 32

Координаты α и δ для 28 июля объединены в арифметические средние, которым соответствуют данные выше l и b. Буква λ обозначает долготу Солнца в среднюю гриничскую полночь. Что касается радиуса-вектора Земли, то для него можно взять среднее значение для средины дат наблюдений $\lg R = 0.00570$.

Вычислив долготу апекса L и приняв во внимание эксцентриситет земной орбиты, получим следующие числовые вели-

чины, обозначения которых хорошо известны. Из их числа ☊, π, i и q являются параболическими элементами орбит. Движение прямое.

θ	ε	ε′	b'	s
183°35′	61° 0′	99°12′	—3°32′	170° 8′
183 3	65 52	106 3	2 56	163 40
181 0	68 57	110 15	0 56	159 44
184 37	66 30	106 56	4 25	162 28
184 17	70 21	112 6	—3 58	157 31
179 38	79 23	123 25	+0 18	146 35
181 6	82 21	126 51	—0 50	143 8

V	i	☊	π	q
—160°16′	+21°1	305°6	105°9	0.030
147 20	10.5	308.8	96.2	0.080
139 28	2.7	311.0	90.5	0.122
144 56	14.8	312.7	97.6	0.092
135 2	+10.4	318.4	93.5	0.148
113 10	— 0.6[1]	321.8	75.0	0.307
—106 16	+ 1.5	328.5	74.8	0.365

Таким образом, мы получили параболические элементы орбит метеоров, и надо отметить, что эти элементы показывают значительные и систематические различия.

Упомянутые метеоры появляются ежегодно для положений Земли между 28 июля и 21 августа; следовательно, они должны описывать эллиптические орбиты.

Большое разнообразие перигельных расстояний q предполагает значительное разнообразие во временах обращения T, что является необходимым условием для установления годичной периодичности появления.

Согласно нашей теории происхождения метеоров из тела кометы существует, как известно, целый непрерывный ряд времен обращения T, заключенных между значительными пределами; значит, мы переходим от одного T к другому последовательно, и это обстоятельство постепенно приводит к годичной периодичности явления между 28 июля и 21 августа.

[1] Узел нисходящий.

Теперь возникает вопрос: какое время обращения T или какие большие оси a нужно взять для данных выше орбит? Между этими орбитами имеются непрерывные ряды других орбит.

Различие между временами обращения для первой и последней орбиты должно быть довольно значительно, имея в виду различие между соответственными перигельными расстояниями. Кроме того, такое различие неизбежно вследствие разных величин узлов и наклонений, несомненно связанных с разнообразными возмущениями от Юпитера; эти последние согласуются с неравенством величин a. Наконец, неравенство параметров согласно нашей теории есть прямое следствие разнообразия направлений и начальных скоростей в конусе извержения.

Для первой орбиты имеется слабое указание, что величина ее времени обращения равна в круглых числах 8 годам, ибо мы отмечаем вариацию числа метеоров, записанных 28 июля.

Элементарные подсчеты показали, что для первой орбиты можно принять $a = 4$, а для последней $a = 7$; времена T будут соответственно 8 и 18. 5; перигельные расстояния 0.050 и 0.396; долготы перигелия $102^\circ\!.6$ и $73^\circ\!.3$.

В промежуточных орбитах примем для a величины, пропорциональные положениям их узлов по отношению к положениям в орбитах I и VII. Тот же способ годен для перигельных расстояний q, которые при первом взгляде уже приблизительно указывают на такую пропорциональность и достаточно согласуются с перигельными расстояниями, полученными дальше по наблюдениям с помощью принятых значений a.

Таким образом, величины a, T и q будут следующие:

a	4.0	4.4	4.7	4.9	5.6	6.1	7.0
T	8.0	9.2	10.2	10.9	13.3	15.1	18.5
q	0.050	0.110	0.134	0.160	0.250	0.300	0.396

Может быть, наш выбор a не всегда полностью соответствует истине, но нам важно прежде всего представить явление только *качественно*, вот почему принятые величины a здесь достаточно

удовлетворительны. Меняя их подходящим образом, мы могли бы при желании составить себе представление о *количественных* границах явления.

С помощью принятых величин a мы имеем возможность перейти от параболических элементов к эллиптическим элементам для всех наших орбит.

Орбиты	I	II	III	IV	V	VI	VII
i	21°1	10°5	2°7	14°8	10°4	—0°6	1°5
π	102.6	93.8	92.5	96.1	92.4	74.0	73.3
q	0.050	0.091	0.127	0.122	0.176	0.340	0.396

Четыре группы метеоров для 28 июля дают нам следующие значения i: 10°, 15°, 23°, 36°; принимая во внимание соответствующие веса, получаем $i = 24°4 \pm 6°$; значения π будут: 107°6, 106°3, 104°5, 110°5; откуда $\pi = 108°1 \pm 1°5$.

Кажется, немного странно прилагать теорию вероятностей с ее следствиями к результатам наблюдений, которые могут относиться к различным точкам площади радиации: только для 28 июля мы имеем отдельные группы. Таким образом, я ограничился тем, что взял для каждого дня среднее значение, которое должно соответствовать, хотя и приблизительно, центру площади радиации.

Указанные выше величины вероятных ошибок могут единственно показать, на какую степень точности мы имеем право претендовать при сравнении теории с результатами наблюдений.

Рисунок на картоне параболических и эллиптических орбит представляет очень интересные особенности.

1. Орбиты расположены довольно раскрытым веером, что, впрочем, видно при первом взгляде на их перигелии.

2. И те и другие орбиты далеки от того, чтобы взаимно пересекаться на[1] орбите Юпитера. Следовательно, разнообразие π и q нужно приписать *не* только *действию* этой планеты.

3. Они пересекаются ветвями, по которым метеоры идут

[1] В их проекции на плоскость, которую мы воображаем посреди плоскостей этих орбит.

к перигелию; эти пересечения занимают известное протяжение, средина которого, обозначенная, предположим, через F, находится на расстоянии 1.8 от Солнца, на 300° гелиоцентрической долготы. Что касается ветвей, ведущих к перигелию, обозначим их через A, остальные ветви — через D. Эти пересечения орбит указывают на одну и ту же производящую комету — в том смысле нашей теории, что они все от нее возникли; орбита этой кометы может быть удлиненным эллипсисом или даже параболой.

Рисунок и некоторые предварительные вычисления заставили нас придти к заключению, что указанная парабола должна иметь $q' = 0.15$ и $\pi' = 89°$. Предположим сперва, что наши орбиты произведены извержениями, происшедшими на дуге ветви A кометной орбиты.

Для наклонения производящей орбиты можно принять, с помощью кривой, среднее значение всех наклонений наших групп, то есть 6—7°. Относительно узла можно единственно сказать, что его долгота не может быть меньше наибольшей долготы всех наших узлов, ибо возмущения со стороны Юпитера сообщают этим последним обратное движение; итак, примем первоначально эту долготу равной $328^\circ\!.5$. Для достаточно малого наклонения (6—7°) даже значительная ошибка в принятом положении узла не имеет заметного влияния на положение упомянутой выше точки F.

Не нужно упускать из виду хорошо известное обстоятельство, что производные орбиты не находятся исключительно в плоскости производящей орбиты, но выходят из каждой точки извержения в виде конуса орбит, каждая из которых имеет свое наклонение и свою долготу узла.

Примем указанные элементы производящей кометы и попытаемся определить величины толчков j и их углов J с радиусом-вектором кометы, способные произвести наши метеорные орбиты.

Наше графическое построение, на котором мы нанесли также орбиту производящей кометы, указало радиусы-векторы этой

орбиты в точках ее пересечений с нашими орбитами, иначе говоря, положения соответственных точек извержения. Однако эти точки могут быть взяты немного ближе или немного дальше от Солнца, при условии, что мы будем иметь элементы наших орбит. Величины j и J для этой цели будут заметно недостаточны; наше построение не настолько точно, чтобы оно могло дать действительное положение этих точек.

Итак, имеем необходимые величины для нашего вычисления: $q' = 0.15$, $\pi' = 89°$.

Орбиты	I	II	III	IV	V	VI	VII
a	4.0	4.4	4.7	4.9	5.6	6.1	7.0
q	0.050	0.110	0.134	0.160	0.250	0.300	0.396
e	0.9875	0.9773	0.9715	0.9673	0.9554	0.9508	0.9434
p	0.0994	0.1977	0.2642	0.3148	0.4889	0.5852	0.7698
v	—148°6′	—149°0′	—149°22′	—149°54′	—140°28′	—144°4′	—146°26′
β	164°3′	164°30′	164°41′	164°57′	160°14′	162°2′	163°13′
$\lg r$	0.29831	0.32222	0.33244	0.34733	0.11810	0.19728	0.25527
V	—164°9′	—157°57′	—134°32′	—152°34′	—131°4′	—131°22′	—127°21′
ψ	— 16°.1	—9°.0	—5°.2	—2°.7	+9°.4	+12°.4	+19°.1
$\pi'-\psi=\pi$	105.1	98.0	94.2	91.7	79.6	76.3	70.0

Отсюда получаем с помощью наших формул:

H^2	1.0063	0.9524	0.9302	0.8989	1.5238	1.2699	1.111
H_1^2	0.7563	0.7251	0.7175	0.6948	1.3452	1.1059	0.9683
γ	+5°27′	+1°6′	—1°5′	—2°34′	—7°35′	—9°33′	12°55′
j	0.160	0.126	0.119	0.121	0.175	0.196	0.240
$\beta - J$	+31°0′	+7°29′	—7°46′	—17°54′	—61°0′	62°47′	66°35′
J	133°3′	157°1′	172°27′	182°51′	221°14′	221°49′	229°48′

Известно, что величины j и J вычисляются из двух уравнений и без всякой двойственности.

Интересно, что величины J дают в их среднем арифметическом 188°.7, то есть направление, почти диаметрально *противоположное* Солнцу. Это направление указывает, что наши метеоры не образовались на дуге производящей орбиты до перигелия, но на дуге, диаметрально противоположной,

после перигелия, где истечения *по направлению* к Солнцу производят эллиптические орбиты.

Следовательно, нужно только подходящим образом изменить направление оси производящей параболы, с тем чтобы произведенные истечениями эллиптические орбиты могли встречать Землю до их перигелиев (см. дальше).

Сравнение среднего значения J с его отдельными значениями заставляет полагать, что пучок извержения совершил колебание на 97° около радиуса-вектора. Такой факт, наблюденный у многих комет, отнюдь не невозможен, но также не надо упускать из виду, что J могло иногда принадлежать не середине конуса извержения, но какой-то струе, не совпадающей с осью этого конуса.

Сравнение величин π, вычисленных теоретически, с теми, которые вытекают из наблюдений, показывает столь удовлетворительное согласие, что, если иметь в виду вероятные ошибки, нет надобности изменять элементы q и π, принятые для производящей орбиты.

Вопрос о происхождении орбит Акварид вызывает другой вопрос, именно: какие возмущения может произвести Юпитер в орбитах этой системы? Для ответа достаточно выполнить вычисление возмущений только для орбиты, которая кажется наиболее точной, тоесть для орбиты I; некоторые заключения, касающиеся других орбит, не составят труда.

Полагая, что возмущения от Юпитера чувствительно уменьшают перигельное расстояние q, я принял для начальной орбиты I: $a = 4.0$, $q = 0.0918$, $e = 0.9782$ и $p = 0.1725$. Окончательное вычисление не подтвердило этого предположения, но различие на 0.04 не ослабляет ни наших рассуждений, ни выводов.

Для наклонения первоначальной орбиты можно принять, как я сказал, 6—7°, наклонение к плоскости орбиты Юпитера немного больше, чем наклонение к эклиптике; я принял 7°.1

для этого последнего, обозначенного в известных формулах[1] буквой J.

Способ Гаусса для вычисления вековых возмущений в данном случае неудобен. Значительные возмущения, с точки зрения нашей задачи, могут происходить единственно на небольших дугах ветвей A и D, где взаимные расстояния Юпитер — метеор Δ не превосходят 2 (два радиуса орбиты Земли). В конце концов легко убедиться, что возмущения обеих ветвей A и D не могли произойти за время одного и того же прохождения Юпитера по соседству с метеорной орбитой.

Попытаемся найти наиболее сильное действие Юпитера на метеор, другими словами, действие в тот момент, когда планета и метеор проходят одновременно через точки наименьшего взаимного расстояния их орбит, что можно назвать *критическим* расстоянием и *критическими* точками.

Среднее суточное движение Юпитера μ', выраженное в минутах, составляет 7.7922; соответственное движение метеора есть 4.985; время обращения метеора 2922.1 дня. Для орбиты Юпитера $a = 5.2082$ и $e' = 0$. Пусть M — долгота метеора на его орбите, отсчитанная от восходящего узла этой орбиты на орбите Юпитера; J — долгота Юпитера на его орбите, считая от той же точки; $\omega = 136°24'$.

Истинная аномалия метеора, когда он находится совсем близко от своей критической точки на ветви A, есть $v = 188°44'$; следовательно, для этой точки $M = 325°8'$. Согласно вышеизложенному условию Юпитер занимает в этот момент критическую точку на своей орбите и его $J = 325°23'$. Пусть 50 дней будет тот интервал λ, с помощью которого вычисляются одновременные значения M и J, вплоть до взаимного расстояния Юпитер — метеор $\Delta = 2.0$. Для критического положения на ветви D будем иметь весьма приближенно $M = 307°40'$ и $J = 307°55'$. Если эксцентрическая аномалия метеора есть E,

[1] Эти формулы воспроизведены в моей заметке о рассеянии радиантов метеоров.

а число дней, протекших от перигелия, — t, то мы имеем необходимые величины для вычисления:

Ветвь A

t	v	E	M	J	lg r
2228.67	185°44′	231° 0′	322° 8′	304°37′	0.81023
2278.67	186 15	234 54	322 39	308 46	0.79583
2328.67	186 47	238 54	323 11	312 55	0.78037
2378.67	187 23	243 6	323 47	317 5	0.76107
2428.67	188 1	247 28	324 25	321 14	0.74120
2478.67	188 44	252 4	325 8	325 23	0.71691
2528.67	189 32	256 56	325 56	329 32	0.63897
2578.67	190 28	262 10	326 52	333 42	0.65582
2628.67	191 33	267 51	327 57	337 51	0.61765
2678.67	192 52	274 7	329 16	342 0	0.57116
2728.67	194 34	281 12	330 58	346 9	0.51083

Ветвь D

t	v	E	M	J
693.43	174°16′	129° 0′	310°40′	328°41′
643.43	173 45	129 5	310 9	324 32
593.43	173 13	121 6	309 37	320 23
543.43	172 37	116 54	309 1	316 14
493.43	171 59	112 32	308 23	312 4
443.43	171 16	107 56	307 40	307 55
393.43	170 28	103 4	306 52	303 46
343.43	169 32	97 50	305 56	299 37
293.43	168 27	92 9	304 51	295 27
243.43	167 8	85 53	303 32	291 18
193.43	165 26	78 48	301 50	287 9

Для постоянного числа $N = \lambda k m' : \sqrt{p}$, выраженного в минутах дуги, имеем: $\lg N = 0.82127$.

Далее имеем:

Ветвь A

L'	$\lg \sin B'$	$\Lambda = M - L'$	$\lg \xi$	$\lg \eta$	$\lg \zeta$
304°50′	9.00943n	+17°18′	0.69430	0.18771	9.72612n
308 59	8.98448n	13 40	0.70218	0.08806	9.70227n
313 8	8.95877n	10 3	0.70817	9.95670	9.67546n
317 18	8.92715n	6 29	0.71234	9.76788	9.64384n
321 27	8.89073n	+ 2 58	0.71479	9.42932	9.60742n
325 35	8.84846n	— 0 27	0.71555	8.61065n	9.56515n
329 44	8.79909n	3 48	0.71486	9.53716n	9.51578n
333 53	8.74052n	7 1	0.71277	9.80295n	9.45721n
338 0	8.67043n	10 3	0.70949	9.95802n	9.38712n
342 8	8.58403n	12 52	0.70533	0.06406n	9.30072n
346 15	8.47314n	—15 17	0.70086	0.13743n	9.18983n

$\lg \Delta$	$\lg K$	X	$\lg R$	$\lg S$	$\lg Z$	$\lg L$
0.34709	8.92324	—0.1729	0.06906n	9.94222n	9.48063	9.57841
0.25380	9.22037	—0.2458	0.22185n	0.13970n	9.75391	9.83161
0.13892	9.57507	—0.3902	0.42256n	0.36304n	0.08180	0.08241
9.97928	0.05948	—0.7432	0.70238n	0.65863n	0.53459	0.41777
9.76891	0.69264	—1.6420	1.04664n	0.95323n	1.13133	0.71724
9.57641	1.27601	—0.3450	0.36909n	0.71793	1.67243	0.66914n
9.75122	0.74580	+1.6380	1.04558	1.11423	1.09285	0.95472n
9.97469	0.07335	+0.7191	0.68806	0.70757	0.36183	0.54743n
0.13253	9.59461	+0.3544	0.38076	0.38390	9.81300	0.22709n
0.25265	9.22401	+0.1993	0.13078	0.11934	9.35600	9.96156n
0.35268	8.90526	+0.1201	9.91081	9.87396	8.92636	9.70458n

Отсюда получаем:

D_λ (δ☊)	D_λ (δi)	D_λ ($\delta \pi$)	D_λ ($\delta \varphi$)	D_λ ($\delta \mu$)
— 9ʹ.66	+ 1ʹ.54	+ 0ʹ.31	+ 1ʹ.28	—0ʹ.0024
— 17.32	+ 2.82	+ 0.56	+ 1.95	—0.0036
— 35.13	+ 5.83	+ 0.96	+ 3.15	—0.0062
— 93.99	+ 15.94	+ 1.95	+ 6.00	—0.0128
— 349.40	+ 60.64	+ 2.63	+11.53	—0.0319
—1128.30	+201.10	—13.51	— 5.33	—0.0134
— 272.95	+ 50.12	—11.32	—14.62	+0.0345
— 45.84	+ 8.72	— 3.96	— 5.48	+0.0173
— 11.52	+ 2.28	— 1.81	— 2.44	+0.0095
— 3.48	+ 0.43	— 0.97	— 1.24	+0.0060
— 1.07	+ 0.13	— 0.53	— 0.65	+0.0041

Для ветви D достаточно написать следующие количества:

$D_\lambda(\delta☊)$	$D_\lambda(\delta i)$	$D_\lambda(\delta\pi)$	$D_\lambda(\delta\varphi)$	$D_\lambda(\delta\mu)$
— 7′.2	+ 0′.9	+ 0′.34	— 1′.29	+0.0023
— 16.1	+ 2.0	+ 0.66	— 2.01	+0.0035
— 35.7	+ 3.7	+ 1.01	— 3.11	+0.0056
— 112.1	+ 13.2	+ 1.45	+ 6.31	+0.0100
— 349.5	+ 34.4	+ 2.00	— 9.27	+0.0198
— 841.5	+ 80.7	— 5.04	— 2.46	+0.0044
— 391.1	+ 36.4	— 7.10	+ 6.98	—0.0213
— 108.2	+ 12.0	— 2.90	+ 4.50	—0.0147
— 39.0	+ 3.4	— 1.72	+ 2.06	—0.0087
— 20.1	+ 2.0	— 1.10	+ 1.10	—0.0050
— 12.0	+ 1.1	— 0.60	+ 0.23	—0.0031

Наконец, добавляя для симметрии небольшие числа, найденные экстраполяцией, получаем:

Ветвь A	Ветвь D
$\delta☊ = 32^\circ.9$	$\delta☊ = -32^\circ.4$
$\delta i = +5.8$	$\delta i = +3.2$
$\delta\pi = -25'.9$	$\delta\pi = -13'.2$
$\delta\varphi = -5.6$	$\delta\varphi = -9.9$
$\delta\mu = +0''.29$	$\delta\mu = -0''.50$

По значениям $\delta\varphi$ и $\delta\mu$ находим δa, δe, δq:

$\delta a = -0.00174$	$\delta a = +0.00301$
$\delta e = -0.00034$	$\delta e = -0.00060$
$\delta q = +0.00131$	$\delta q = +0.00246$

Легко вычислить долготу восходящего узла возмущений орбиты на старой орбите: для ветви A, например, эта долгота равна 243°; значит, этот узел находится на 63° сзади от старого узла.

Если рассмотрим величины возмущений, то заметим прежде всего, что значительные, для нашего вопроса, изменения получаются в узле и потом в наклонении; затем более внимательное изучение величин D_λ $(\delta☊)$ и D_λ (δi) показывает, 1) что в наших

орбитах возмущения значительны только на малых дугах орбит и 2) что возмущения узла и наклонения убывают очень быстро, по мере того как минимальное расстояние между метеором и Юпитером становится больше, чем критическое расстояние; в этом случае различие на 0.2 уже сокращает величину $\delta\Omega$ наполовину.

Столь сильные возмущения в долготе узла легко объясняют различие в 23° между орбитами I—VII. Это различие могло произойти: 1) из-за возмущений первой орбиты, как раз равных 23°, если предположить, что наименьшее Δ для этой орбиты заключалось между 0.4 и 0.6 и что орбита VII не испытала никаких заметных возмущений. В нашем веке Юпитер проходил близко от орбиты I, ветвь *A*, в следующие эпохи: 1808.0, 1819.9, 1831.7, 1843.6, 1855.5, 1867.3; 2) из-за возмущений в орбитах I и VII,— и то же самое во всех других орбитах,— причем возмущения в первой орбите были на 23° больше. Мы увидим позже, что возмущения в первой орбите вообще должны быть более сильными, чем в остальных.

Бесполезно объяснять, почему в нашем вопросе невозможны никакие указания, даже приблизительные, на эпоху критического расстояния Δ.

Так как переход Юпитера от критического положения на ветви *D* к положению на ветви *A* происходит за 217 дней и равен $17^\circ.5$, возможные критические эпохи для ветви *D* будут: 1807.4, 1819.3, 1831.2, 1843.0, 1854.9, 1866.8. Эти эпохи предшествуют эпохам ветви *A*; но чтобы перейти от критического положения на ветви *D* к критическому положению на ветви *A*, метеор должен пройти через свой афелий. По поводу остальных орбит можно сделать те же самые замечания.

Чтобы объяснить особенности для системы в целом, достаточно выбрать специальный случай, который можно было бы по желанию распространять и усложнять. Однако прежде нужно вообразить начальное состояние системы. Вначале эта система еще не была усложнена возмущениями от Юпитера, и все ее орбиты,— мы говорим здесь об орбитах, произведенных

извержениями в плоскости производящей орбиты,—находились в одной и той же плоскости, с долготой узла, по меньшей мере равной 328°.5, и с наклонением в 6—7° или около этого (мы видели, что в нашем случае последний элемент остается очень ненадежным).

Большие оси орбит расположены, согласно различиям π, веером с раствором в 30°. Их ветви A проходят соответственно ближе к орбите Юпитера, чем ветви D; они также образуют веер с раствором 17°. Для первой орбиты ветвь A в ее критической точке находится на 38° сзади узла; для последней орбиты это угловое расстояние равно 55°.

Очевидно, что критические расстояния от орбиты Юпитера немного различны и возрастают от орбиты I к орбите VII; для орбиты I Δ критическое равно 0.39, для орбиты VII это Δ равно 0.52. Кроме этого, их параметры,— и это еще важнее,— сильно различаются между собой; они возрастают от орбиты I к орбите VII так, что отношение их квадратных корней есть 2.8. По этой причине, при прочих равных условиях, возмущения в орбите VII почти в 3 раза слабее, чем возмущения в орбите I[101].

Предположим теперь, что метеоры с временем обращения $T_2 = 16$ и с очень близкими временами обращения, орбита которых находится между орбитами VI и VII, приближаются,—начиная с момента t, отсчитанного от известной эпохи t_0, в $3n$-й раз (где n целое число),—по ветви A к их критической точке; Юпитер в тот же момент t приближается к точке своей орбиты, являющейся критической для орбиты метеоров. Расстояние Δ становится критическим (или почти критическим), и орбита претерпевает более или менее сильные возмущения. Двигаясь дальше, Юпитер приближается в момент $t + \delta t$ к критической точке орбиты, у которой $T_1 = 12$ или около того; группа метеоров этой орбиты находится на критическом (или почти критическом) расстоянии Δ. Эти метеоры приходят сюда в $4n$-й раз, считая от той же самой эпохи t_0. Наконец, то же самое обстоятельство будет иметь место для орбиты I, у которой $T = 8$.

Все это можно записать таким образом:

$$t = 3nT_2,$$
$$t + \delta t = 4n(T_1 + \delta T_1),$$
$$t + \delta t = 6n(T + \delta T).$$

Все эти орбиты являются возмущенными; но возмущения в последней из них будут вообще почти в 3 раза сильнее, чем в первой. Не забудем, что времена T следуют в виде непрерывного ряда. Видно также, что три орбиты, указанные выше и выбранные из целого ряда, могли подвергнуться возмущениям за время того же прохождения Юпитера поблизости от этих орбит.

Можно вообразить другой случай, в котором другое прохождение Юпитера в иную эпоху могло произвести возмущение в нескольких других орбитах из всего их ряда. Однако случаи подобных возмущений нескольких орбит почти за один раз не нужны для нашего объяснения: каждая из орбит ряда I—VII могла испытать возмущения в свою очередь и в свою эпоху. Для орбиты VII повторение возмущений происходит реже, чем для орбиты I, по причине различия их времен обращения. Отсюда видно, что во всех случаях возмущения должны становиться все слабее от орбиты I к орбите VII, и этого достаточно, чтобы оправдать наши рассуждения.

Смещения орбит нашей системы могут быть грубо иллюстрированы сравнением этих орбит с рядом театральных кулис, один раз размещенных в плоскости, а затем более или менее выведенных из этой плоскости, но всегда в порядке их расположения.

Мы видели, что наблюдения дают бóльшие числа метеоров для 28 июля, чем для других дат. Их число должно зависеть вообще от строения конуса извержения; чем он плотнее, тем более сжат будет ряд орбит, происходящих из него, и тем более плотной будет также группа метеоров, оказавшаяся на каждой орбите. Относительно комет мы знаем, что их

истечения иногда бывают очень густыми, но эта густота далеко не остается всегда одной и той же за время видимости кометы; она меняется—и иногда периодически. Таким образом, орбита I и ее непосредственные соседи должны были получить больше метеорного вещества, чем другие орбиты системы.

Состояние системы Акварид не может сейчас рассматриваться как неизменное. Новое возмущение со стороны Юпитера может снова изменить узлы их орбит и их наклонения. Так, например, в системе Андромедид смещение узла на 4° произошло около 1890.5.

Точка F, занимающая середину протяжения, где пересекаются наши метеорные орбиты, имеет расстояние от Солнца $r = 1.8$ и гелиоцентрическую долготу 300°. Нельзя ли допустить, что эта величина r проистекает из-за ошибок наблюдений и что она в действительности меньше настолько, что производящая комета могла проходить очень близко к Марсу на его наибольшем расстоянии от Солнца $r = 1.67$. Это допущение позволило бы приписать этой планете разнообразие, сравнительно столь значительное, величин π и q. Если дело обстоит так, производящая орбита и ее производные орбиты должны все пересекаться около точки F, в которой, согласно нашему допущению, $r = 1.67$ и $v = 300°$ [102].

Пользуясь этими величинами и значениями π и q, мы легко находим a, e и p для наших орбит; достаточно ограничиться двумя крайними орбитами, I и VII, и приложить к нашему предположению известный критерий Тиссерана:

$$\alpha = \frac{1}{a} + \frac{2}{a'^{3/2}} \sqrt{p} \cos i,$$

где a' будет теперь среднее расстояние Марса, равное 1.524. α должно иметь постоянное значение для производящей орбиты и всех ее производных орбит.

Вычислим теперь эллиптические величины π и q наших орбит с помощью значения $a = 3.5$ (в этом вычислении уме-

ренное изменение a не окажет никакого заметного влияния на окончательный результат):

орбита	I:	$q = 0.048,$	$\pi = 102^\circ.3;$
»	VII:	$q = 0.410,$	$\pi = 73.1;$

откуда

орбита	I:	$a = 4.64,$	$e = 0.9896,$	$p = 0.096;$
»	VII:	$a = 2.19,$	$e = 0.8124,$	$p = 0.743;$

наконец,

орбита I: $\alpha = 0.535;$ орбита VII: $\alpha = 1.374.$

Итак, критерий совершенно не согласуется с предположением, высказанным выше; следовательно, Марс не играет никакой роли в усложнении явления, представляемого системой Акварид.

Действия других планет не чувствительны, ибо наши метеоры движутся слишком низко по отношению к плоскостям их орбит.

Из-за неуверенности в элементе i первоначальной орбиты нужно принять во внимание очень важный случай, когда i достаточно мало; в этом случае производящая комета могла некогда проникнуть в сферу действия Юпитера.

При таком i, не считая пересечения в F, орбиты могли почти пересекаться очень близко от орбиты Юпитера.

Для больших осей наших орбит I и VII, равных 2.0 и 7.0, найденных с помощью других вычислений, имеем соответственные аномалии на этих орбитах: $173^\circ.4$ и $205^\circ.4$, откуда вытекает разность перигелия 32°; она согласуется в пределах вероятных ошибок со значением $29^\circ.3$, даваемым наблюдениями.

Применение критерия Тиссерана к этим a дает α, соответственно 0.303 и 0.291; для $a = 6.5$, орбиты VII получаем $\alpha = 0.302$.

Значения $a = 3.23$ для орбиты I и 4.70 для орбиты VII также удовлетворяют критерию, имея общее α, равное 0.362. Последующее уменьшение a дает слишком малую разность перигелиев; так, для $a = 3.0$ и 4.2 эта разность составляет 23° и $\alpha = 0.385$. Для величин $a = 5.0$ и 9.7 общее α будет 0.252 и разность перигелиев 35°. Известно, что для периодических комет минимум α есть 0.43 [103].

Итак, в случае кометы Акварид важная роль в образовании различия элементов принадлежит Юпитеру. Умеренные истечения, которые могли развиться после перигелия на средних расстояниях от этой точки, будучи направлены к Солнцу [1], произвели бы пучки эллиптических орбит. При этих орбитах, вследствие заметных различий в их периодах, было бы допустимо — в течение более или менее длительного времени до катастрофы—образование некоторого рода метеорных колец, наиболее густая часть которых принадлежит средине конуса истечения. Отсюда — периодичность и площадь радиации.

После катастрофы Юпитер мог оторвать более или менее густую часть этих метеоров и рассеять их по другим орбитам. Совокупность колец сохранила свои старые орбиты, их времена обращения T и свою площадь радиации.

Другая катастрофа такого рода могла оторвать другую часть системы, не изменяя в целом первоначального состояния.

Там, где метеорные орбиты не порождены действием больших планет, как, например, Персеиды, можно указать пределы j; но в случаях, вроде того, который нас занимает сейчас, это почти невозможно, ибо — и в этом одна из многочисленных особенностей явления — действие извержений смешивается с мощным действием Юпитера. Не нужно упускать из виду, что величина j меняется от кометы к комете; это доказано изучением кометных хвостов.

[1] При этих условиях они не дают сильных изменений p, q и π, особенно когда величина угла J около 0°.

Вывод из нашего сложного исследования очень прост. Поток Акварид произведен истечениями большой кометы после ее перигелия. Пучки орбит потока по большей части (номера 1, 2, 4, 5) проходят вне сферы Юпитера; некоторые из них (номера 3, 6, 7), благодаря их наклонениям, могут проникать в эту сферу. Все эти орбиты были более или менее сильно возмущены Юпитером, откуда и произошли значительные различия в их элементах.

1896, 6 марта.

(Известия Академии Наук, 1896, апрель, т. IV. № 4).

О НЕКОТОРЫХ МЕТЕОРНЫХ СИСТЕМАХ

Хорошо известный каталог Деннинга[1] дает нам много примеров метеорных потоков, на которых более или менее ясно можно видеть действие различных деятелей, производящих разложение кометной массы на отдельные частицы — метеоры. Эти деятели таковы: действие какой-либо большой планеты, действие Земли, повидимому достаточно малое, и действие Солнца, посредством притяжения и ядерных истечений.

Легко понять, что относительная интенсивность любого из этих деятелей в каждом данном случае очень различна. Если комета проходит, например, сперва через сферу действия Юпитера и затем приходит к своему перигелию, расстояние которого не очень мало, то разложение может быть почти целиком обязано Юпитеру. Проходя очень близко к Солнцу, но вне сферы действия Юпитера, как, например, комета 1882 II, комета испытает двойное действие Солнца: разложение притяжением и разложение вследствие сильных истечений из ядра; поэтому всегда будет трудно, даже невозможно определить относительную силу этих двух деятелей, и т. д.

Мы оставляем здесь в стороне обычные возмущения от больших планет, которые в свою очередь способны усложнить явление.

В нашей статье потоки обозначены номерами каталога Деннинга.

---

[1] Catalogue of Radiant Points... Monthly Notices, May 1890. Элементы их орбит могут быть взяты из каталога, вычисленного И. Клейбером.

Леониды. Элементы производящей кометы 1866 I таковы: $\pi = 42^\circ\!.4$, $i = 162^\circ\!.7$, $T = 33.176$ лет, с вероятной ошибкой ± 1 год, $\omega = 171^\circ\!.0$, $\Omega = 231^\circ\!.4$, $q = 0.977$.

Расстояние кометы в афелии равно 19.660, большая полуось Урана — 19.183; разность равна 0.477 и радиус сферы деятельности планеты — 0.296. Таким образом, комета не может входить в сферу деятельности Урана; но достаточно принять $T = 32.676$ (оставаясь в пределах вероятных ошибок), чтобы получить расстояние афелия, равное 19.452, что сокращает до 0.269 расстояние между кометой и центром планеты. Итак, комета могла проходить через сферу деятельности Урана, действию которого можно было бы приписать ее разложение?..

Элементы метеорных потоков таковы:

№	Год	$\pi - \Omega$	Ω	i	q	n
773	1879	177°6	231°3	163°8	0.989	18
774	1877	180.6	231.8	162.0	0.989	5
775	1888	175.5	232.0	164.7	0.986	17
781	1885	178.2	232.8	166.6	0.989	5
782	1887	173.8	232.3	164.3	0.986	7
788	1885	182.7	234.8	164.5	0.989	6
801	1876	199.6	239.1	164.5	0.957	5

$\varepsilon = 9^\circ\!.5$; $\gamma = 1^\circ\!.4$, где γ (см. наши формулы) указывает максимум отклонения метеора по направлению при его прохождении около поверхности Земли[104]; буква n — число отмеченных метеоров.

Возмущающее действие на Ω почти нечувствительно в афелии (где $v + \omega$ почти равно 360°), в то время как в действительности $\delta\Omega$ имеет значительную величину в 8°, а δi — нечувствительно. Разлагающее действие Солнца (путем притяжения) никак не может быть заметно на расстоянии перигелия $q = 0.99$. Остается, таким образом, действие Солнца, вызывающее истечения из ядра, и действие Земли на частицы при их прохождении около ее поверхности.

Но первое действие возобновляется, или, вернее, могло прежде возобновляться, при каждом возвращении кометы к Солнцу, тогда как, напротив, встреча самого тела кометы с Землей должна рассматриваться как событие, по меньшей мере очень редкое.

Если однажды разложение было вызвано Солнцем, встреча метеоров с Землей становится все более возможной, по мере того как дуга, занимаемая отделившимися частицами, увеличивается. Средняя, более сгущенная, часть этой дуги метеоров находится вокруг кометы; она соответствует величинам j (начальная скорость истечения) наиболее слабым, и узел этих метеоров испытывает со стороны больших планет то же самое перемещение, что и узел ядра. На самом деле узел номера 773 равен 231°.3, а узел кометы 231°.4; для номера 801 долгота узла равна 239°.1. Орбиты этих метеоров должны быть менее удлинены, чем орбита кометы (но не становясь при этом внутренними по отношению к орбите Юпитера), чтобы вековое смещение узла стало более значительным. Следовательно, эти орбиты обязаны бóльшим величинам j.

Согласно Ньютону и Кирквуду, существует, кроме главного роя, еще два довольно значительных сгущения: одно, отмеченное в 1787, 1818 до 1822, 1852 и 1888 гг., другое — в 1813, 1846 до 1849 и 1877 до 1880 г.

По Кирквуду, этот последний рой, о котором он находит первое упоминание в 1582 г., имеет более короткий период, чем главный рой (33.11 года вместо 33.25 лет).

Эти сгущения легко объяснить, допустив, что в прошлом главные (центральные) истечения были временами немного гуще и сильнее.

Итак, главным деятелем в разложении этой кометы были, вероятно, истечения из ядра [105]. Притяжение Солнца, Земли и Юпитера могло немного действовать в том же самом смысле, а Земля могла действовать в особенности на частицы, уже отделившиеся и близкие к ее поверхности.

Наконец, можно допустить, что комета 1866 I была произ-

ведена вместе с метеорами взрывом какой-то большой параболической или гиперболической кометы.

Предположим, что для большой кометы $q = 0.972$, в точке взрыва $v = 20°$, $j = 0.114$ и $J = +10°$. С помощью известных формул получаем для орбиты производной кометы: $\lg a = 1.01332$, $\lg e = 9.95591$, $T = 33.11$ лет; величина $\pi - \Omega$ будет $\omega = 162\overset{\circ}{.}7$.

Отделившаяся комета в свою очередь могла стать производящей для метеоров с эллиптическими орбитами.

Ориониды. Деннинг не считает эту систему в числе неподвижных радиантов, для которых он требует продолжительности в 60 дней, в то время как явление Орионид длится только 12 дней и координаты их радианта меняются на 5° по прямому восхождению и на 3° по склонению. Ориониды, кажется, принадлежат одному семейству без всякой примеси, и их особенности помогут нам понять строение и образование вышеупомянутых радиантов Деннинга.

№ обозначает номер Деннинга (каталог 1890 г.), m — текущий номер; «Встреча» указывает узел, где метеоры встречаются с Землей, восходящий или нисходящий; v — истинная аномалия метеора для r, равного радиусу орбиты Юпитера (5.2); $\beta = 180° - v$; $\alpha = 180° + \omega$; Δ— расстояние между метеором и орбитой Юпитера.

№	Встреча	m	q	i	Ω	$\pi - \Omega$
647	Восход.	1	0.728	168°	19°	63°
675	»	2	0.644	165	22	73
697	»	3	0.489	166	25	91
698	»	4	0.569	162	24	82
699	»	5	0.603	161	25	78
703	»	6	0.577	162	26	81
707	»	7	0.527	163	26	87
712	»	8	0.486	160	27	91
713	»	9	0.560	166	27	83
718	»	10	0.511	159	28	89
722	»	11	0.452	160	30	95
723	»	12	0.387	163	31	103

Вычислим величины Δ для параболы и Δ_1 для эллипсиса, у которого a=4.0; соответствующие величины β будут β и β_1; для большей простоты возьмем средние арифметические величины по номерам: (3, 4, 5), (6, 7, 8), (9, 10, 11), откуда получаем [106]

	α	β	β_1	Δ	Δ_1
1	243°	44°	24°	0.52	0.74
	—	—	—	1.56	1.09
2	253	41	23	0.72	1.10
	—	—	—	1.24	1.34
(3, 4, 5)	264	38	21	1.10	1.41
	—	—	—	1.30	1.45
(6, 7, 8)	266	37	21	1.22	1.52
	—	—	—	1.36	1.52
(9, 10, 11)	268	37	21	1.26	1.54
	—	—	—	1.33	1.50
12	283	32	18	1.45	1.54
	—	—	—	1.08	1.26

Величины $a = 4.0$ и $a = \infty$ служат пределами для почти всех возможных значений a, которые в действительности ближе к нижнему пределу. Сравнивая величины Δ и Δ_1, обнаруживаем, что общая таблица положений метеоров по отношению к орбите Юпитера качественно остается почти неизмененной в обоих случаях; значит, количественные различия несущественны для общих рассуждений.

Орбиты Орионид — внешние и не могут встречать сферу деятельности Юпитера, тем более сферы других больших планет; очень простое графическое построение покажет, что сами плоскости этих орбит пересекаются далеко от плоскости эклиптики. Таким образом, условия I и II не удовлетворяются[1].

Что же из этого заключить, кроме того, что Ориониды отнюдь не порождены какой-то кометой вследствие разлагающих возмущений планет.

Тем не менее расстояния Δ таковы, что обычные возмущения от Юпитера значительны.

[1] См стр. 370—372.— *Ред.*

Нужно представлять себе явление следующим образом: истечения кометного вещества производят ряд пучков орбит с различными параметрами. Когда эти пучки или, скорее, какие-то части этих пучков проходят на некотором расстоянии от Юпитера, они испытывают с его стороны возмущения, которые должны отличаться в соответствии с различием параметров их орбит. Поэтому замечаем значительную разницу во всех элементах Орионид. Эти метеоры происходят от кометы, испытавшей действие солнечной энергии, а Юпитер, увеличивая различие элементов производных орбит, главным обазом i и Ω, делает видимым первоначальный поток на протяжении нескольких дней.

Рассмотрим поток Орионид еще с другой точки зрения. Несмотря на большое разнообразие параметров в пучке метеорных орбит, почти всегда одна часть его будет богаче по числу метеоров и сравнительно гуще. Периодические возвращения этого участка могут служить для определения общей большой полуоси эллипсисов, описываемых сгущением. В каталогах Деннинга 1890 г. (А) и 1899 г. (В) мы несколько раз находим число наблюденных метеоров (n); из них делаем следующий ряд согласно каталогу В:

Год	n	Год	n	Год	n	Год	n
1864	14	1869	32	1879	45	1892	9
1865	19	1876	8	1884	4	1893	8
1867	12	1877	62	1887	108	1895	24
1868	170	1878	11	1888	6	1897	9
						1898	11

Сгущение, повидимому, принадлежит годам 1868, 1877, 1887 и 1895. Период, в среднем, $T = 9$ лет. В каталоге А находим максимумы: в 1877 г. $n = 57$; в 1879 г. $n = 39$; в 1887 г. $n = 45$; откуда $T = 9$ лет. Это значение T дает нам $a = 4.33$. Естественно, что это T относится к наиболее густой части потока; другие метеоры, наверное, имеют другие времена обращения.

Квадрантиды. Элементы потоков таковы:

№	Год	$\pi - \Omega$	Ω	i	q	n
913	1886	171°8	278°2	72°8	0.979	5
1	1884	179.2	281.5	81.7	0.984	6
2	1879	173.6	281.3	74.7	0.982	14
5	1880	181.0	282.6	72.8	0.984	19
6	1886	178.2	282.6	74.8	0.984	8
8	1877	180.4	285.4	71.3	0.984	4

$\varepsilon = 65°, \ \gamma = 3°7.$

Встреча с Землей происходит в нисходящем узле после прохождения перигелия. Перигелий находится очень близко от эклиптики, и так как производящая комета нам неизвестна, можно было бы приписать разложение Юпитеру или Сатурну. Для прохождения метеоров через сферу действия Юпитера нужно иметь $2a - q = 5.2$, то есть $a = 3.10$ и $T = 5.46$ лет.

Гипотеза разложения под действием одной из больших планет или силой притяжения Земли встречается с серьезным возражением в виде значительной величины $\delta\Omega = 7°$. Для очень большого наклонения возмущение долготы узла, пусть со стороны Юпитера, пусть со стороны Земли, должно быть очень слабым, однако в действительности оно обнимает несколько градусов. Притягивающее действие Солнца могло бы произвести только довольно тонкий след из метеоров, который не может измеряться несколькими градусами во время прохождения Земли. Итак, остаются истечения из ядра, которые образуют конусы орбит с отверстием в несколько градусов. При этом предположении нет никакой надобности принимать периодичность производящей кометы: параболическая комета могла своими истечениями произвести систему эллиптических орбит, приводящих к ежегодному повторению явления. Отметим еще, что для истечений вблизи перигелия величина q в этих производных орбитах остается почти неизменной.

Лириды. Мы имеем их элементы:

№	Год	$\pi - \Omega$	Ω	i	q	n
72	1885	228°	29°	72°	0.841	6
75	1887	219	29	77	0.889	4
86	1885	217	30	79	0.904	10
87	1877	211	30	75	0.935	7
88	1887	219	30	81	0.889	5
102	1884	219	31	78	0.895	17
103	1887	214	31	80	0.918	7
104	1878	213	31	82	0.920	13
105	1879	212	31	81	0.925	8
106	1874	204	30	78	0.962	32
107	1885	210	31	83	0.938	14

$$\varepsilon = 62^\circ, \ \gamma = 3^\circ.1.$$

Встреча с Землей происходит в нисходящем узле после прохождения через перигелий, который предшествует этому узлу на 33°. Производящая комета 1861 I имеет: $\pi = 243^\circ$; $\Omega = 30^\circ$; $i = 80^\circ$; $q = 0.921$; $T = 396.6$ лет.

Истинная аномалия для прохождения через восходящий узел есть $146^\circ.6$, где $r = 10.20$; большая полуось Сатурна $a = 9.54$, откуда $r - a = 0.66$. Прежде чем достигнуть восходящего узла, орбита подходит еще ближе к Сатурну, на расстоянии $\Delta = 0.2$, и, таким образом, может пересекать его сферу деятельности, радиус которой составляет 0.32. Итак, комета могла испытать разложение, по меньшей мере частичное, со стороны этой планеты. Так как величина i очень велика, возмущающее действие Сатурна вызвало только небольшое изменение Ω и проявилось в π и q. Отсюда заключим, что преобладающая роль в образовании этой системы может быть приписана Сатурну.

Примем, что время обращения метеоров первой орбиты (номер 72) в среднем арифметическом 10 лет. Тогда $a = 4.65$ и инвариант для Сатурна $J = 0.217$; откуда для номера 107 $a_2 = 4.98$ и $T = 11.1$ [107]. Однако мы не имеем права настаивать на полном отсутствии других влияний, в особенности

истечений, так как изменение узла имеет заметную величину, несмотря на то, что наклонение большое.

Геминиды.

№	Год	$\pi - \Omega$	Ω	q	i	n
853	1885	328°	253°	0.075	52°	8
864	1876	322	257	0.106	27	20
865	1877	329	257	0.072	48	9
876	1885	322	259	0.106	35	28
880	1876	320	261	0.115	34	24

$$\varepsilon = 61^\circ\!.1, \ \gamma = 3^\circ\!.1.$$

Явление имеет место в нисходящем узле. Для ветви орбиты, ведущей к перигелию, v на расстоянии Юпитера равно $164^\circ\!.5$, афелий находится впереди от нисходящего узла на $35^\circ\!.6$. Наименьшее расстояние от Юпитера на этой ветви есть $\Delta = 1.12$, для другой ветви $\Delta = 2.55$. Для остальных больших планет эти *минимальные* расстояния еще больше. Следовательно, производящая комета не могла быть захвачена ни Юпитером, ни какой-либо другой большой планетой, и, может быть, ее орбита осталась параболой. Юпитер причиняет обычные возмущения в короткопериодических орбитах, произведенных, в частности, производящей параболической орбитой, и эти возмущения должны различаться, как различаются и большие оси этих орбит; действительно, долгота узла не постоянна для всех метеоров семейств, и по крайней мере часть ее изменения может быть приписана Юпитеру. Расстояние перигелия столь мало, что разлагающее действие Солнца притяжением и путем истечений, по всей вероятности, очень энергично. Взаимное отношение этих двух деятелей, конечно, неизвестно; все-таки существование орбит с короткими периодами, на что указывает годичное повторение явления, говорит в пользу преобладания истечений.

Что касается действия Земли, то в нем следует видеть количество второго порядка, так как результаты этого действия могли бы стать чувствительными только после многих встреч планеты с телом кометы. Однако это было бы необоснованное и совершенно произвольное предположение. Выделившиеся

метеоры, описывающие орбиты с короткими периодами, могут часто проходить близко от поверхности нашей планеты и испытывать тогда некоторые изменения орбит.

Аквариды (η). Мы имеем элементы метеоров: $\pi - \Omega = 106°$; $\Omega = 46°$; $i = 166°$; $q = 0.643$; $\varepsilon = 24°$; $\gamma = 1.^\circ6$. Координаты точки радианта по Деннингу (в 1886 г.) 337°, —2.°1 (апреля 30 — мая 6), по Тэпману (в 1870 г.) 326.°5, —2.°5 (апреля 29— мая 3) и по Кордеру (в 1886 г.) 334°, —1°.

Деннинг делает следующее замечание (Monthly Notices, January, 1888): «Крайне необходимы дальнейшие наблюдения над этим потоком. Радиант видим только на короткое время перед восходом Солнца... Девять метеоров (он их наблюдал 12.— *Ф. Бр.*) хорошо согласуются с положением радианта, а для трех остальных следы проходят на расстоянии нескольких градусов от него; но радиант мог быть рассеянным до протяжения в 5° или 7°, ибо я не могу иначе объяснить три заметно несогласных метеора, направления которых были хорошо наблюдены в каждом случае»[108]. Элементы кометы Галлея: $\pi - \Omega = 111°$; $\Omega = 55°$; $i = 163°$; $q = 0.587$. Эпоха радианта кометы — 4 мая, и он имеет координаты: 337°, 0°. В момент наибольшей взаимной близости Земли и кометной орбиты, 4 мая, Земля находится на 0.06 выше этой орбиты (к северу) и на 12° впереди от восходящего узла, прохождение через который совершается после прохождения через перигелий ($v = +69°$). Кратчайшее расстояние между орбитой кометы и Юпитером составляет 0.69, то есть комета никогда не входит в сферу действия этой планеты. Другие большие планеты остаются еще дальше.

Таким образом видно, что ни Земля, ни большие планеты не могли принять участия в разложении кометы, и его следует приписать Солнцу. Хотя перигельное расстояние не малое, но наблюдения Бесселя над излияниями кометы показали, что эти излияния были очень сильны и представляли довольно правильные колебания около радиуса-вектора ядра.

Эти излияния, которые мы имеем право считать гораздо более сильными в прошлом, могли рассеять небольшое

количество кометной массы и бросить на орбиты с короткими периодами, откуда и произошло ежегодное повторение явления. Возмущающее действие Юпитера на эти орбиты, из-за неравенства их времен обращения, вызвало неравное изменение узла.

По этой причине — и вследствие расхождения истечений — продолжительность явления охватывает шесть дней (30 апреля — 6 мая) и площадь радиации имеет диаметр в несколько градусов. Действие Земли также вызывает некоторое отклонение направлений метеоров, приближающихся к ее поверхности.

Номера 92, 110 и 121.

№	Год	$\pi - \Omega$	Ω	i	q	n
92	1877	165°	30°	105°	0.989	6
110	1885	165	31	106	0.989	5
121	1887	167	35	109	0.993	4

$$\varepsilon = 45{^\circ}5, \quad \gamma = 2^\circ.$$

Наклонение очень велико. Явление происходит в нисходящем узле, на 15° после прохождения перигелия. Можно так выбрать параметры орбиты производящей кометы, что она сможет проходить через сферу действия Юпитера или Сатурна и т. д., и приписать, таким образом, ее распад той или иной из этих планет.

Но для столь большого наклонения возмущения Ω должны быть ничтожными; тот же вывод следует о действии Земли; однако длительность явления показывает обратное: изменения Ω достигают 5°. Следовательно, эллипсисы с короткими периодами, вызывающие повторение явления, были образованы под действием Солнца и главным образом истечениями из ядра; в расхождении их направлений следует искать причину изменений i и Ω.

Номера 85 и 119.

№	Год	$\pi - \Omega$	Ω	i	q	n
85	1877	239°	30°	92°	0.764	6
119	1887	237	35	93	0.778	12

$$\varepsilon = 53^\circ, \quad \gamma = 2{^\circ}7.$$

Орбиты почти перпендикулярны к эклиптике. Явление имеет место в нисходящем узле, на расстоянии в 58° до прохождения через перигелий. Наименьшее расстояние от Юпитера $\Delta = 1.2$. Сатурн и другие большие планеты удалены еще больше. Итак, разложение не было делом этих планет. Изменение ☊ достигаст 5°; его нельзя приписать ни этим планетам, ни Землс, но оно легко объясняется, если привлечь конусы орбит, порожденных истечениями. Эти последние поэтому могут рассматриваться как главный деятель в образовании этого семейства метеоров.

Номера 293 и 294.

№	Год	π — ☊	☊	i	q	n
293	1885	279°	128°	163°	0.427	6
294	1878	273	126	153	0.485	9

$$\varepsilon = 30^{\circ},\ \gamma = 1^{\circ}\!.7.$$

Явление имеет место в нисходящем узле, который находится на 84° позади перигелия. Наименьшее расстояние от Юпитера $\Delta = 1.17$. Ни Юпитер, ни другие большие планеты не могли вызвать разложения; действие Земли незначительно. Образование метеоров, следовательно, должно быть приписано действию Солнца. Явление длится (см. каталог Деннинга) от 27 июля до 1 августа; однако наклонение незначительно, и изменение ☊ может происходить от возмущений Юпитера в производных орбитах с короткими периодами различной продолжительности. Если производящая комета — параболическая, преобладающая роль в разложении должна принадлежать истечениям из ядра.

Номера 260 и 268.

№	Год	π — ☊	☊	i	q	n
260	1878	165°	126°	104°	1.000	8
268	1880	163	127	106	0.995	9

$$\varepsilon = 46^{\circ},\ \gamma = 2^{\circ}\!.4.$$

Встреча происходит в нисходящем узле после прохождения через перигелий, который находится на 16° позади узла. Легко видеть по положению большой оси, что можно заставить орбиту производящей кометы проходить совсем близко от Юпитера или от Сатурна и т. д., и приписать разложение одной из больших планет. Очень малое изменение ☊, кажется, не требует участия истечений.

Номера 124, 138 и 140.

№	Год	$\pi - ☊$	☊	i	q	n
124	1887	188°	36°	46°	1.002	6
138	1886	184	48	45	1.007	6
140	1885	185	51	44	1.009	4

$$\varepsilon = 89^\circ,\ \gamma = 6^\circ.$$

Явление происходит в нисходящем узле, который находится на 6° позади перигелия. Производящая комета, орбита которой неизвестна, могла разложиться под влиянием той или иной большой планеты. Долгота узла представляет большие изменения, которые могут быть целиком приписаны возмущающему действию планеты, вызвавшей разложение, так как наклонение невелико. При этих обстоятельствах нельзя сделать никакого вывода относительно действия Солнца. Вследствие значительной величины угла γ Земля может вызвать заметные изменения в направлении частиц, проходящих около ее поверхности

В только что рассмотренных нами системах метеоров имеются такие, у которых производящая комета никогда не могла вступать в сферу действия какой-либо большой планеты. В этих случаях преобладающая доля в образовании метеоров должна быть приписана Солнцу. Но, безусловно, нелепо допустить, что у комет, разложение которых могло быть вызвано некоторой большой планетой, действие Солнца должно быть нечувствительно: действие планеты никоим образом не исключает действия Солнца, и это последнее является более общим.

Мы добавим, что для объяснения числа существующих роев не нужно принимать (что было бы абсурдом) такое же число

периодических комет, больших или малых, *прямо* встречающих Землю на своем пути или проходящих совсем близко от орбиты какой-либо из планет[1] [109].

Относительная сила двух видов действия Солнца — сила его притяжения и сила, развивающая истечения,— изменяется от одной кометы к другой; этого забывать нельзя. Каждое из этих действий есть функция перигельного расстояния q, но зависит также от строения кометы, от ее массы и т. д.

Изучение аномальных хвостов показало мне[2], что сила истечений способна превратить параболическую орбиту частиц в орбиты эллиптические с довольно короткими периодами, например в 20 лет. Предположим, что это является почти верхним пределом силы истечения j для q, довольно значительного, например, $q=0.5$. Действие притяжения должно оставаться много ниже этого предела[3] [110]. Нижний предел j опускается до нуля; именно этим очень малым значениям j и соответствующим значениям притягивающего действия нужно приписать образование густой части метеорного роя прилегающей к телу кометы.

Что касается действия Земли, то оно играет только второстепенную роль: встречая рой, всегда произведенный Солнцем, она более или менее[4] изменяет орбиты частиц, проходящих вблизи от ее поверхности. Она могла бы разложить комету, если бы самое ядро последней прошло совсем близко от поверхности нашей планеты. Подобная встреча может рассматриваться только как исключительный случай.

1896, 6 ноября.

(Известия Академии Наук, 1896, декабрь, т. 5, № 5).

---

[1] L. Schulhof. Sur les étoiles filantes, p. 55.

[2] См. мои исследования о хвостах комет и о происхождении падающих звезд.

[3] L. Picart. Sur la désagrégation des essaims météoriques, pp. 47—49.

[4] Как, например, в рое Персеид.

СЛОЖНЫЕ (ТАК НАЗЫВАЕМЫЕ НЕПОДВИЖНЫЕ) РАДИАНТЫ ПАДАЮЩИХ ЗВЕЗД

1

Предполагаемое существование индивидуальных неподвижных радиантов (или радиантов большой длительности) является препятствием для всех сколько-нибудь приемлемых теорий падающих звезд.

Эти радианты допустил Деннинг.

В 1878 г. он сообщил, что несколько потоков, кажется, обладают очень большой продолжительностью. В некоторых хорошо наблюденных случаях период охватывает, как он говорит, более четырех месяцев.

В 1884 г. Деннинг развил свою мысль более полно, все время настаивая на существовании последовательных появлений метеоров в точности из одной точки неба после коротких промежутков кажущегося спокойствия. Он называет эти точки радиации «неподвижными».

В 1890 г. Деннинг опубликовал свой каталог [1], в котором он дает положения 918 радиантов; к этому каталогу он добавил список 45 неподвижных радиантов, один из которых длится целый год. Частные группы, составляющие неподвижные

---

[1] Catalogue of 918 Radiant Points etc. By W. F. Denning. Monthly Notices of the R. A. S., vol. L, May 1890. Мы будем обозначать этот каталог буквой A.

радианты и расположенные по их временам появления, находятся в самом каталоге.

Именно по этому каталогу И. Клейбер[1] вычислил для 918 метеорных орбит параболические элементы, которыми мы и воспользуемся.

В 1899 г. появился новый каталог Деннинга, в котором радианты расположены в порядке их прямых восхождений. Он там уже не поддерживает взгляда, что рассеяные радианты не существуют в действительности, ибо на его карте каждый радиант представлен кругом, имеющим 7° в диаметре. 918 групп каталога A объединены в 278 групп в новом каталоге[2]; следовательно, во многих случаях отдельные радианты сливаются в один; таким образом, получается больше неподвижных радиантов, и для некоторых из них время радиации становится более продолжительным. В этом каталоге В Деннинг уже делает маленькую уступку в смысле нашего мнения, высказанного выше[111], когда он говорит (B, стр. 203): «Не следует заключать, что одна группа положений необходимо включает в себе только один поток. В действительности достаточно, очевидно, что в тех случаях, когда индивидуальные радианты различаются до 10° и более, имеет место несколько различных систем и, очень возможно, что весьма большая длительность некоторых радиантов (точно согласующихся по положению, хотя и сильно различающихся по датам) может указывать на системы, следующие друг за другом и физически не связанные».

Однако легко убедиться, что каждый неподвижный радиант (или большой длительности) состоит из нескольких индивидуальных радиантов, даже если эти радианты не отличаются сильно по датам; это должно означать, что неподвижный радиант есть не что иное, как сложный радиант, образованный из

[1] И. А. Клейбер. Определение орбит метеорных потоков. 1891.

[2] General Catalogue of the Radiant Points of Meteoric Showers etc... By W. F. Denning. Mem. of the R. A. S., vol. LIII. Этот каталог является расширенным изданием; мы можем удовлетвориться каталогом А.

многих индивидуальных потоков, каждый из которых имеет свое место в пространстве и свое собственное происхождение, но все они пересекаются орбитой Земли.

Рассмотрим, например, известный радиант β Персеид. Возьмем его частные группы вместе с их номерами и датами в каталоге А. Пусть *n* — число метеоров, образующих группу; *м*, *с*, *б* — видимые скорости: малая, средняя, большая, ε — элонгация истинного радианта от апекса; λ и β — долгота и широта перигелия относительно эклиптики; *i* π, ☊ и *q* — параболические элементы потоков.

Мы будем иметь:

№	Дата	α	δ	ε	*v*	*n*
45	III, 1	47°	+45°	171°	*м*	4
231	VII, 20	47	45	64	*б*	5
246	VII, 25	48	43	56	*б*	15
325	VIII, 4	48	43	47	*б*	10
343	VIII, 7	46	45	48	*б*	6
394	VIII, 14	48	44	43	*б*	5
413	VIII, 20	46	44	44	*б*	4
445	VIII, 23	46	47	48	*б*	9
480	VIII, 30	46	43	45	*б*	4
533	IX, 15	48	44	59	*б*	6
545	IX, 16	47	45	63	*б*	7
598	IX, 27	48	44	74	*б*	6
621	X, 5	47	45	85	*б*	5
709	X, 20	45	46	105	*б*	6
710	X, 20	47	44	103	*б*	9
767	XI, 13	48	43	130	*м*	4
820	XI, 27	48	42	143	*м*	10
906	XII, 25	47	+44	162	*м*	7

	№	*i*	π	☊	*q*	λ	β
1	45	8°	143°	342°	0.962	143°	+ 3°
2	231	125	7	118	0.776	354	+51
3	246	132	11	123	0.700	32	+13
4	325	137	355	133	0.879	347	+27
	343	134	346	136	0.941	338	+21
5	394	137	337	143	0.995	333	+10

	№	*i*	π	☊	*q*	λ	β
6	413	136°	322°	148°	1.007	324°	— 5°
	445	132	321	151	1.005	324	— 7
7	480	138	305	157	0.933	312	—21
8	533	130	293	173	0.750	302	—42
	545	126	250	174	0.635	289	—52
	598	117	266	185	0.420	295	—62
9	621	100	242	193	0.322	216	—67
10	709	63	140	207	0.307	160	—55
	710	65	146	207	0.261	170	—53
11	767	26	140	231	0.501	140	—26
12	820	17	133	246	0.682	132	—15
13	906	10	128	277	0.916	128	— 5

Мы видим здесь 13 или 14 орбит (№ 598?), то есть столько же индивидуальных потоков. Легко понять, какой точности можно требовать, когда орбита основана на нескольких метеорах, десяти, например, и когда радиант, выведенный из умеренного числа метеоров, может не совпадать с центром площади радиации, который соответствует оси метеорного потока.

Несмотря на простоту нашего объяснения явлений неподвижных радиантов (см. выше нашу статью «Происхождение космических метеоров»), многие до сих пор поддерживают индивидуальность этих радиантов и хотят видеть какие-то необычайные особенности в их образовании и даже в происхождении метеорных потоков, которые могли произвести эти квазианомальные радианты. И даже в последнее время появились две очень сложные теории неподвижных радиантов [112].

Первая из них принадлежит проф. Тернеру [1], а вторая — проф. Гершелю [2].

[1] A Suggestion for the Explanation of Stationary Radiant-Points of Meteors. By H. H. Turner. Monthly Notices of the R. A. S., vol. LIX, № 3, January 1899.

[2] Remarks on the Paper by Prof. H. H. Turner; together with another suggested explanation of Stationary Radiant-Points of Meteors. By A S. Herschel. Monthly Notices of the R. A. S., vol. LIX. № 4.

Теория Гершеля основана на следующих соображениях. В прошлом Земля еще сопровождалась кольцом тел (может быть, вроде кольца Сатурна). Эти тела следовали по тому же самому пути, что и Земля, и, следовательно, имели почти ту же самую скорость. Космический поток (идея о подобных потоках принадлежит Проктору), выброшенный с громадной скоростью неким гигантским Солнцем, вроде Сириуса, мог стремительно пройти через солнечную систему в заданном направлении. Встречая тела кольца, он сообщил им скорость в направлении самого потока; но величина ее была уменьшена пропорционально массам соприкасавшихся тел. Эта скорость могла даже стать эллиптической.

Допустим, говорит Гершель, скорость потока космической пыли в 10 или 20 раз бóльшую, чем скорость непериодических комет при их встрече с земной орбитой, то есть скорость, примерно равную 250 или 500 англ. миль в секунду, и пусть масса ударяемого тела кольца будет в 30 или 60 раз больше, чем масса космической пылинки, которая ударила в это тело прямо сзади. При этих условиях начальная орбитальная скорость телец кольца, равная 18 англ. миль, увеличится на 7 или 8 миль. Диагональ, построенная на начальной скорости (равной скорости Земли) и на новоприобретенной скорости, даст направление движения по орбитам, которые могут быть замкнутыми, то есть эллиптическими.

Для телец кольца, массы которых равны на всем протяжении земной орбиты, — предполагая, что направления и скорости в космическом потоке везде одинаковы, — диагонали будут иметь различные направления, вследствие различий в направлениях этих телец, прежде описывавших свои круговые орбиты. При этом допускается, что направления и скорости в космическом потоке везде одинаковы.

Описывая новые эллиптические орбиты, тельца будут периодически возвращаться к земной орбите, и при их встрече с Землей относительные направления, видимые с Земли, движения их будут везде почти одни и те же, ибо они должны совпадать

с направлением космического потока, скорость которого предполагается столь большой, что аберрация уже не чувствуется в его движении.

Таким образом, будем иметь явление радиации, идущей из определенного участка неба, другими словами, будем иметь неподвижный радиант, годовой или большей длительности.

Таковы основы теории Гершеля. Можно пойти дальше и сказать, что тельца кольца, когда они имеют другую массу и подвержены действию того же самого космического потока, или другие тельца, задетые другим потоком, имеющим собственное направление, могут породить новые радианты и т. д.

Тот, кто смог убедить себя в существовании подобных космических потоков в прошлом, найдет, быть может, средство преодолеть разнообразные усложнения в механизме, прибегая к помощи дополнительных предположений о числе космических потоков, о их направлениях в пространстве, о распределении масс в кольце и т. д...

Теория проф. Тернера кажется более разработанной, ибо он опирается на математические вычисления, относящиеся к возмущающим действиям Земли на метеоры. И Гершель, прежде чем излагать собственную теорию, выражается так: «Объяснение неподвижных точек радиации, предложенное в статье проф. Тернера, безусловно открывает нам в весьма ясном изложении и в очень изящной и остроумной форме истинное основание для их существования» [113].

Проф. Тернер пытается доказать, что неподвижный радиант может быть произведен возмущающими действиями Земли на метеоры, которые в их последовательных прохождениях вблизи от Земли пересекают орбиту этой последней, то спереди от центра планеты, то сзади от него. Для большей простоты эти особенные метеоры в рое мы можем назвать специальными метеорами и будем иметь в виду только эти тельца при изложении теории Тернера.

Проф. Тернер основывает свою теорию на следующих рассуждениях.

(а). Скорость метеора остается неизменной по величине после его встречи с Землей.

(б). После одного прохождения скорость немного изменяется по направлению, но после двух прохождений в двух положениях, противоположных по отношению к Земле, изменение направления может уничтожиться.

(в). Вместе с этим время прохождения около Земли сокращается; здесь подразумевается все время, использованное для прохождения между точкой вступления в сферу действия Земли и точкой выхода из этой сферы.

Рассматривая относительное движение метеоров по отношению к Земле, можно принять, что метеорный поток приближается к неподвижной Земле с относительной скоростью и единственно под влиянием земного притяжения, ибо в сфере действия планеты можно пренебрегать различием притяжения Солнца на Землю и на метеор.

Нет никакого затруднения, говорит автор, представить себе, каким образом может уничтожиться изменение в направлении, как это сказано в пункте (б). Действительно, если метеорный поток пробегает орбиту, период которой несоизмерим с периодом Земли, некоторый метеор может проходить через орбиту Земли, при своих последовательных возвращениях, во всех положениях по отношению к Земле,— без различия спереди или сзади, ближе или дальше; но в среднем изменение направления будет равно нулю.

Таким образом, продолжает автор, результат действия Земли на движение метеора в среднем из целого ряда встреч (предполагая, что метеор не упал на Землю) может быть выражен так:

(г). После встреч относительная скорость остается по величине той же самой, какой она была до этих встреч.

(д). Относительная скорость после ряда встреч также остается неизмененной по направлению.

(е). Однако при каждой встрече метеор пересекает земную

орбиту немного раньше, чем это было бы в том случае, если бы не существовало притяжения Земли[1].

В средних числах результат действия Земли на движение метеоров в пространстве иллюстрируется чертежом автора (рис. 13), который называет его немного преувеличенным.

До встречи путь метеора обозначен dk; если бы не было притяжения Земли, он продолжал бы двигаться с равномерной скоростью по пунктирной линии и казался бы идущим к Земле вдоль линии xy.

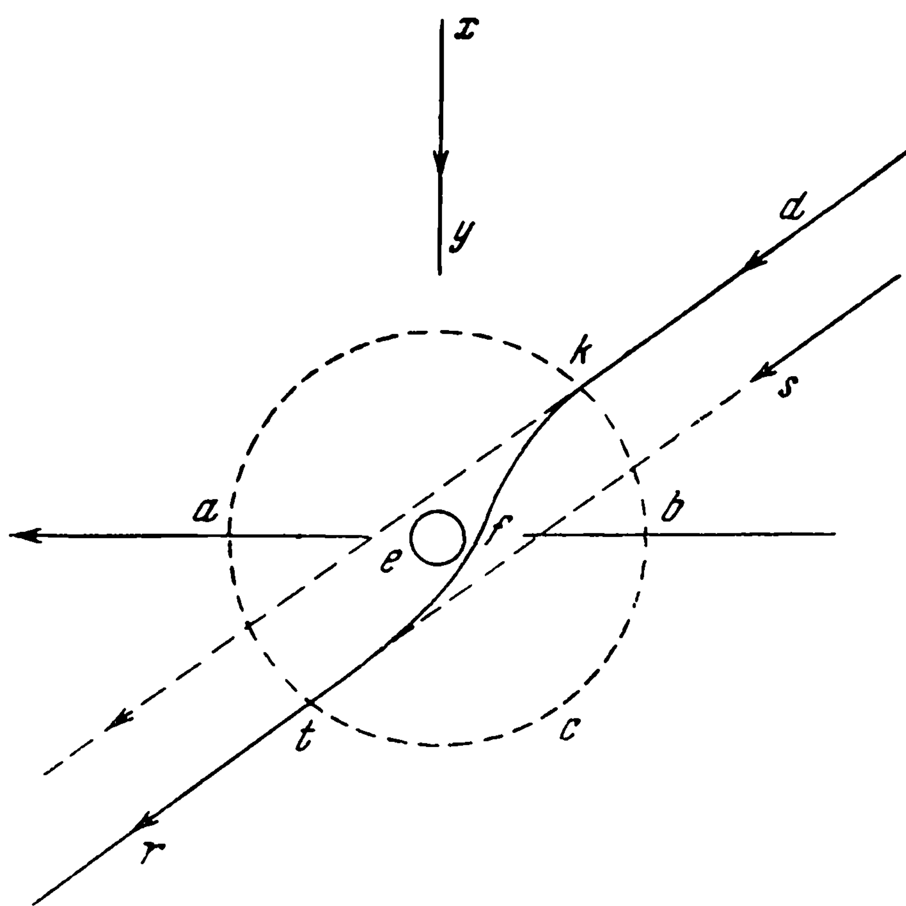


Рис. 13

Под влиянием притяжения Земли, которое уже чувствительно около k, относительная скорость в направлении xy возрастает; орбитальная скорость, общая для Земли и для метеора, в направлении ba остается той же самой. Следовательно, скорость метеора в пространстве примет направление, более наклонное к ba; метеор пойдет по кривой линии $dkftr$ и примет свое начальное направление только на линии tr, когда увеличение скорости уничтожится и притяжение Земли снова станет нечувствительным.

При своем последующем возвращении метеор приходит, следуя по линии str, которая пересекает орбиту Земли немного раньше, чем в предыдущем случае (см. наше замечание немного

[1] Автор приписывает особенное значение тому, что время прохождения около Земли сокращается, и он немного путает это с отступанием узлов. Но это — недоразумение: для метеоров с обратным движением период также сокращается, в то время как узел смещается к востоку. Мы увидим ниже, что это ничего не меняет в значении его теории.

выше); однако он приближается к Земле с той же самой относительной скоростью, как по величине, так и по направлению (в среднем из многих встреч), которую он имел прежде.

Так как положение радианта, говорит автор, зависит единственно от относительной скорости Земли и метеора,— это положение остается неизменным; только метеор кажется приходящим из этого радианта немного ранее, чем прежде. В то же самое время Земля извлечет известное количество метеоров из их роя, в то время как другие практически не испытают никаких возмущений.

Таким образом, Земля имеет тенденцию, говорит автор, распределять орбиты метеоров вдоль своей собственной орбиты; радиант остается тем же самым, и длительность радиации постепенно увеличивается. Это действие Земли, говорит Тернер, «обещает быть истинной причиной существования неподвижных радиантов» [114].

Выше сказано, что возможность прохождений одних и тех же метеоров то спереди, то сзади от Земли зависит от несоизмеримости периодов Земли и метеоров. Автор предлагает объяснение даже для случая соизмеримости. Он пытается найти опору для этого в примере вращения небесных тел вокруг их осей и допускает слабое вращение роя метеоров вокруг некоей оси (?) и говорит: это вращение — не необходимо ли оно даже для поддержания потока в его протяженном состоянии?

Так как вся масса роя, повидимому, очень мала, продолжает автор, скорость вращения, сравнительно очень слабая, сохранит протяжение роя, в то время как в составной скорости каждого отдельного метеора в пространстве, состоящей из скорости его движения вокруг Солнца и скорости вращения вокруг оси роя, эта последняя может быть пренебрежена.

Это вращение метеорного потока кубарем вокруг Солнца противоречит механике, но оно необходимо автору для соизмеримых потоков (см выше): благодаря ему метеор может встречать орбиту Земли то спереди, то сзади планеты, чтобы приобрести таким образом неизменность направления

в пространстве. Мы увидим, что теория Тернера не нуждается в столь недопустимых усложнениях.

Проф. Гершель признает заслуги теории Тернера в указании истинного принципа существования метеорных потоков, обладающих неподвижной радиацией и большой длительностью, но, прежде чем излагать собственную теорию, он делает следующие замечания. В случае постоянства относительной скорости и точки радиации в течение всей длительности изменений узлов метеорных орбит, поток с малой скоростью, как, например, поток Аквилид (λ) в августе, должен был сохранить эту медленность даже и в апреле, куда привело его обратное движение узла по эклиптике; однако, согласно многим наблюдателям, поток Аквилид является очень быстрым в апреле. И таких примеров много, добавляет Гершель.

Прежде чем идти дальше, рассмотрим ближе этот радиант Аквилид (λ). В каталоге А Деннинга мы его находим под номером 38 ($\alpha = 281°$, $\delta = -13°$); его частные группы для апреля и августа находятся там под номерами 54 и 326. С обозначениями, принятыми выше, мы имеем элементы орбит и другие данные:

№	Дата	α	δ	ε	v	n
54	1877, IV, 14	280°	—14°	32°	*б*	—
326	1877, VIII, 4	284	—12	157	*м*	4

и

№	i	π	☊	q	β
54	63°	227°	355°	0.802	+13°
326	5	359	133	0.857	— 4

Ясно видно, что этот неподвижный радиант составлен из двух самостоятельных потоков, притом весьма различных. В первом из них метеоры приходят из апекса, и их (видимая) скорость велика; во втором, напротив, они приходят из антиапекса и, следовательно, их скорость мала; элементы их также весьма различны, например, наклонения. Вот совершенно искусственная теория, приведшая к недоумению, в то время как

простое объяснение с помощью разложения квазииндивидуального радианта подтверждается сказанным.

Посмотрим теперь, как Тернер отвечает на замечание Гершеля.

Он видит в нем непреодолимое препятствие для своего принципа: в этом принципе устанавливается постоянство относительной скорости по величине и направлению, в то время как у метеоров одного и того же радианта величина относительной скорости меняется со временем. Ослабление относительной скорости без изменения направления, говорит он, заставляет подумать о сопротивляющейся среде, как вероятной причине, влияние которой на малые метеорные частицы должно быть очень чувствительно. Если нам надлежало бы рассмотреть только метеоры, близкие к апексу или антиапексу, объяснение больших скоростей около апекса и малых скоростей по соседству с антиапексом было бы следующим.

Примем сначала, что орбиты уже распределены по всей орбите Земли таким образом, что относительная скорость остается неизменной по величине и направлению. Тогда у апекса скорость в пространстве будет разностью между относительной скоростью и скоростью Земли, и она будет мала; у антиапекса эта скорость — сумма скоростей, следовательно, она будет больше. Затем под влиянием сопротивляющейся среды, неподвижной в пространстве, последняя скорость (то есть сумма скоростей) будет немного более ослаблена, чем первая из них, и, таким образом, относительная скорость станет меньше у антиапекса, чем у апекса.

Однако в промежуточных точках относительная скорость испытает изменение, вследствие ослабления абсолютной скорости, не только по величине, но и по направлению. Таким образом, автор признает здесь недостаточность своего объяснения, но надеется вернуться к вопросу и подвергнуть его более тщательному исследованию.

Автор выражает желание, чтобы был проверен самый принцип его теории, несмотря на то, что некоторые факты наблю-

дений грубо противоречат его выводам. Он предполагает также разработать свои спекуляции в больших подробностях: «В столь важном вопросе, конечно, весьма желательно предпринять более тщательное исследование, и я надеюсь это сделать».

Вернемся теперь к основам теории. Чтобы лучше представить себе картину возмущающих действий Земли на метеоры, очень удобно было бы иметь перед глазами их числовые величины. С этой целью можно применить формулы Калландро[1], относящиеся к действию планеты на тела, которые проходят сквозь ее сферу действия; но в данном случае для нас окажется достаточным более простое средство, именно: вычислить упомянутые действия с помощью формул частных возмущений [115].

Возьмем орбиту (специального) метеора такую, чтобы обстоятельства его прохождения около Земли походили на те, что изображены на чертеже Тернера (см. рис. 13). Примем прежде всего, что метеор описывает эллиптическую орбиту с периодическими возвратами к Земле. Однако, единственно чтобы упростить вычисления, предположим, что эта орбита является параболой с перигельным расстоянием $q = 0.5$, с наклонением $i = 45°$ и с прямым движением, причем встреча ее с Землей имеет место в нисходящем узле, где истинная аномалия метеора $v = 90°$ и радиус-вектор $r = 1$.

Возьмем сначала случай, когда метеор пересекает орбиту Земли перед центром Земли. Пусть угол его направления с направлением движения Земли равен 60°. Диаметр сферы деятельности Земли пусть будет 0.01; скорость Земли в секунду 3.97 географич. мили, а скорость метеора на единице расстояния от Солнца 5.62 географич. мили. Продолжительность прохождения через сферу деятельности достаточно принять в 14 часов; небольшие возмущения за пределами этого интервала могут быть прибавлены графическим способом.

[1] O. Callandreau. Étude sur la théorie des comètes périodiques.

Наиболее интересны для нас возмущения в узле ☊ и в наклонении i; для этих возмущений мы будем иметь формулы:

$$D_\lambda(\delta\Omega) = \frac{rZ\sin M}{\sin i} \quad \text{и} \quad D_\lambda(\delta i) = rZ\cos M,$$

где

$$Z = -NKr'\sin T\sin i, \quad N = \frac{\lambda k m'}{\sqrt{p}}, \quad \sqrt{p} = 1,$$

$$K = \frac{1}{\Delta^3} - \frac{1}{r'^3},$$

где второй член исчезает прежде первого.

m' — масса Земли, равная 1 : 324439; $\lg k$ (в секундах) = = 3.55001; r' — радиус-вектор Земли; M и T — долготы метеора и Земли, считаемые от восходящего узла, положение которого произвольно.

λ — интервал времени, выраженный в днях; если мы примем его равным одному часу, будем иметь $\lambda = 0.0417$; отсюда имеем $\lg N = 6.65867$ (—10).

Истинные аномалии метеора, считаемые от перигелия, для 7 точек до узла и 7 точек после него соответствуют 14 промежуткам по одному часу; их радиусы-векторы будут:

v	lg r	v	lg r
89°42′.5	9.99779	90° 2′.5	0.00033
89 45.0	9.99811	90 5.0	0.00064
89 47.5	9.99843	90 7.5	0.00095
89 50.0	9.99875	90 9.9	0.00126
89 52.5	9.99907	90 12.4	0.00157
89 55.0	9.99937	90 14.9	0.00188
89 57.5	9.99971	90 17.4	0.00219
90 0.0	0.00000		

Предположим, что в момент, когда метеор находится в своем узле перед центром Земли, его отделяют 8 земных радиусов от последнего; это расстояние соответствует 1′10″.4 (гелиоцентрических).

При последующем прохождении расстояние между метеором и центром Земли остается тем же самым.

Величины T, соответствующие этим двум случаям, будут:

T	T
1) 180°—18′25″.7	2) 180°—16′ 4″.9
15 57.8	13 37.0
13 29.9	11 9.1
11 2.0	8 41.2
8 34.1	6 13.3
6 6.2	3 45.4
3 38.3	— 1 17.5
— 1 10.4	+ 1 10.4
+ 1 17.5	3 38.3
3 45.4	6 6.2
6 13.3	8 34.1
8 41.2	11 32.0
11 9.1	13 29.9
13 37.0	15 57.8
+16 4.9	+18 25.7

В обоих случаях соответствующие долготы метеора на его орбите будут:

M	M
180°—17′30″	180°+ 2′30″
15 0	5 0
12 30	7 30
10 0	9 54
7 30	12 24
5 0	14 54
— 2 30	180° +17 24
180° 0 0	— —

При вычислении Δ — расстояния между центром Земли и метеором — для всех точек малые дуги могут быть заменены прямыми линиями. Для Земли нужно только умножить эти дуги, выраженные в секундах, на $\sin 1''$; для метеора касательная, совпадающая с направлением его движения к узлу, образует угол в 45° с радиусом-вектором, и, следовательно, дуги

аномалий должны быть здесь умножены на $\sin 1'' : \cos 45°$. Радиусы-векторы принимаются равными единице.

Если обозначить линейные величины дуг через $\overline{m}$ и $\overline{t}$, будем иметь:

$$\Delta^2 = \overline{m}^2 + \overline{t}^2 - 2\overline{m}\overline{t}\cos x,$$

где x — угол между направлениями движения метеора и Земли. Он может быть найден из треугольника, построенного на сфере, центр которой находится в узле, а вершины углов — в точках пересечения сферы: 1) с орбитой метеора, 2) с орбитой Земли и 3) с линией узлов. Искомая сторона x будет иметь противоположный угол i, а две другие стороны будут 90° и 45°. Следовательно,

$$\cos x = \sin 45° \cos i.$$

Для первого прохождения метеора (до возмущений) $i = 45°$ и $x = 60°$. Таким образом, получим Δ, а затем K, логарифмы которых будут:

lg	K
6.56544	9.13726
6.76317	8.24841
6.99621	7.71309
7.27987	7.34481
7.64203	7.04878
8.14225	6.80685
8.94385	6.60297
10.40058	—

Характеристики относятся к целым числам[116]. Теперь легко вычислить возмущения в долготе узла и в наклонении. Имеем:

D_λ	(δ☊)
—0.″046	—0.″171
0.053	0 128
0.064	0 093
0.081	0 074
0.108	0 060
0.163	0 050
—0.308	—0 043
0.000	— —

Отсюда $\delta\Omega = -1''.44$.

D_λ	(δi)
$+6''.32$	$-166''.20$
8.64	62.48
12.50	30.17
19.64	18.06
35.14	11.74
79.23	8.22
229.06	— 6.07
+2766.10	—

Графическая экстраполяция для начала и для конца ряда даст еще $+0''.40$, и мы имеем:

$$\delta i = +48'44''.10. \qquad (1)$$

После нескольких полных оборотов метеор вернется к Земле и пройдет через ее орбиту. Предположим, что он ее теперь пересекает сзади от центра Земли, но на том же самом взаимном расстоянии. Наклонение до возмущений было $i = 45°$, теперь $i = 45'48''.7$. Величины, вычисленные в соответствии с этим новым наклонением, будут:

lg	K
6.58866	8.93202
6.79131	8.13376
7.03173	7.63246
7.32558	7.28034
7.70502	6.99561
9.94227	6.76128
9.12928	6.56280
10.40058	—

Потом будем иметь:

D_λ	(δi)
$+5''.90$	$-2767''.10$
7.97	295.53
11.36	79.01
17.42	35.01
29.92	20.06
62.29	12.75
+165.23	8.80
—	— 6.43

Дополнительное экстраполированное число будет $-0''.60$; следовательно,

$$\delta i = -48'44''.2. \qquad (2)$$

Изменение ☊ остается тем же самым, то есть $\delta ☊ = -1''.44$.

Мы видим, что после двух подобных встреч метеор пойдет по своей новой орбите с начальным наклонением $i = 45°$, в то время как узел сместится на $3''$ к западу.

Отметим здесь, что с уменьшением расстояния между метеором и Землей, во время прохождения, возмущения в узле увеличиваются незаметно, в то время как изменение i при одном прохождении может нарасти до 3°.

Мы вычислили также второй случай, другими словами, прохождение позади Земли с наклонением $i = 45°$, и получили то же самое $\delta ☊$; для наклонения имеем:

D_λ	(δi)
$+\ 5''.92$	$-2766''.10$
8.00	229.48
11.40	79.48
17.48	35.23
30.00	20.19
62.30	12.82
+165.96	8.85
—	— 6.47

И с экстраполированной величиной мы получаем:

$$\delta i = -48'48''.2$$

Эта величина отличается на $4''$ от величины (2).

Было бы интересно иметь таблицу изменений других элементов метеорной орбиты для обоих наших случаев, а также и для тех случаев, в которых метеор пересекает плоскость эклиптики на линии радиуса-вектора Земли, над ее центром (L) и между этим центром и Солнцем (P).

Однако мы не делаем для Земли этих вычислений, уже сделанных для Юпитера[1].

В нашей записке приведена следующая таблица возмущений метеоров, проходящих около Юпитера на расстоянии Δ (минимум) = 0.08 от его центра, причем диаметр планеты равен 0.001. Прохождения происходят в восходящем узле обратного движения ($i = 113°$); прохождения спереди и сзади Юпитера обозначены P и L:

		N	S	L	P
	$\delta☊$	+4′	+3′	—2′	—2′
	δi	+3°0	—2°9	—0°4	+1°0
	$\delta\pi$	+2°8	—2°1	—0°9	—1°7
(J)	δa	—0.1152	+0.0920	+0.0113	—0.0359
	δe	+0.0269	—0.0283	+0.0203	—0.0134
	δq	—0.1232	+0.1209	—0.0648	+0.0313
	$\delta\mu$	+0′582	—0′422	—0′049	+0′176

Нужно отметить, что возмущения узла отличаются своей малой величиной при прохождении во всех положениях по отношению к центру планеты. То же самое имеет место для возмущающих действий Земли.

Теперь пойдем дальше. Истинное положение метеора в пространстве может быть легко определено по его координатам относительно эклиптики с помощью двух прямоугольных треугольников на сфере, центр которой находится в узле. Первый треугольник образован следующими плоскостями: 1) плоскостью, которая проходит через направление движений Земли и метеора, 2) плоскостью эклиптики и 3) плоскостью, перпендикулярной к последней и проходящей через направления метеора. Пусть P будет угол первой плоскости с эклиптикой; сторона, образованная третьей плоскостью, будет широтой направления метеора (b). Примем условие: считать долготы на эклиптике от восходящего узла, и предположим, чтобы

[1] Th. Brédikhine. Sur la dispersion des points radiants des météores. Bulletin de l'Acad. des Sciences de St.-Pét., 1892, vol. VII, pp 261—263.

упростить построение, что этот узел совпадает вначале с точкой весеннего равноденствия; тогда сторона, образованная плоскостью эклиптики, будет $90° - l$, где l — долгота направления метеора.

Пусть x будет сторона, образованная первой плоскостью, иначе говоря, угол между направлениями движений Земли и метеора.

Во втором треугольнике одна из сторон будет также b, вторая — l, а третья образована плоскостью, проходящей через направление метеора и линию узлов; в нашем случае она будет равна 45°; угол, противоположный b, есть наклонение орбиты метеора, также равное 45°. Легко получаем из этих треугольников: $l = 35°16'$; $b = 30°0'$; $P = 35°16'$; $x = 60°0'$. Аберрация движения имеет место в первой плоскости, и для скоростей метеора и Земли, соответственно равных 1.414 и 1.0, получаем при угле $x = 60°$ величину угла между истинным направлением метеора и его относительным направлением $A = 43°54'$. Итак, угол между направлением движения Земли и относительным направлением метеора будет $x + A$.

Если через относительное движение метеора провести плоскость, перпендикулярную к эклиптике, получится еще один сферический треугольник, у которого стороны будут: β, $90° + \lambda$ и $x + A = 103°54'$ и известные углы P и 90°; λ и β — координаты относительного направления метеора на эклиптике. Вычисляя их, находим:

$$\lambda = 343°8', \qquad \beta = 34°5'.$$

Смещение узла составит в нашем случае 3″ после двух встреч метеора с Землей. Допустим, что в течение неизвестного времени узел сместился на 5° (подобное смещение предполагает 12 000 встреч!) и что за это число встреч прохождения были в среднем равноотстоящими и равными по числу спереди и сзади Земли, так что наклонение i оставалось тем же самым, равным

45°; наши предыдущие построения будут также теми самыми; единственно долготы[1] будут уменьшены на 5°. Итак,

$$l' = l - 5° = 30°16', \quad b' = b = 30°0' \text{ и } \lambda' = 338°8', \quad \beta' = 34°5'.$$

Преобразуя видимые координаты, относящиеся к эклиптике, в прямые восхождения и склонения, будем иметь соответственно:

$$\alpha = 330°47', \qquad \delta = +24°44';$$
$$\alpha' = 326°39', \qquad \delta' = +23°3'.$$

Подобные изменения будут иметь место для α и δ истинного радианта.

Итак, с последующим смещением (совершенно незначительным, по правде сказать) линии узлов на эклиптике, направления радиантов, истинного и видимого, постепенно меняются, и, если наши специальные метеоры в необразимом протяжении времени не упадут все на Землю, наш квазинеподвижный радиант опишет по небу целый круг по своим прямым восхождениям, изменяя склонения. Одним словом, это не будет неподвижный радиант, но скорее блуждающий радиант.

В чем же, однако, состоит основная ошибка в теории Тернера?

Объяснение очень просто: рисунок автора и выводы, которые он из него развил, относятся к малой прямолинейной части земной орбиты, а в своих последующих выводах он забыл, что узел орбиты метеора не всегда остается на прямой линии, но должен быть проведен, хотя и с чрезвычайной медленностью, по овальной орбите Земли. Выводы Тернера допустимы только при том условии, впрочем невозможном, что Земля движется равномерным движением по прямой линии. Но если сама теория несостоятельна, ее вторичные усложнения, как вращение потока, сопротивление среды и т. д., не имеют больше никакого значения.

---

[1] Мы считаем долготы от начального положения восходящего узла, рассматриваемого для этой цели как неподвижный.

Когда потеряли из виду круговое движение Земли, тем более в этом движении пренебрегли эллиптичностью, столь важной по отношению к нашим специальным метеорам.

Сохранение их направлений, хотя и сильно ограниченное, имеет место, строго говоря, только в плоскости, проходящей через центр Земли и касательной к эклиптике. Таблица (J) показывает нам, что для метеора, проходящего дальше, и другого метеора, проходящего ближе, чем Земля по отошению к Солнцу (здесь нельзя сказать: то ближе, то дальше), принцип Тернера обратился в ничто, так как наклонения должны чувствительно меняться в том же самом смысле при каждом прохождении, а радиант испытает только рассеяние. Итак, дело идет о том, чтобы узнать, как метеор может потерять свое специальное положение.

Линия апсид обладает прямым угловым движением и описывает 11″7 за год; за 111 000 лет она опишет 360°. Следовательно, ей нужно 306 лет, чтобы пробежать дугу в 1°. Для такой дуги минимальное изменение радиуса-вектора Земли равно 0.00007 [117], тогда как радиус Земли равен 0.000045; линия апсид движется быстрее, чем узел метеора. Следовательно, если в заданный момент радиус-вектор специального метеора равен 1 (на неподвижной прямой в пространстве, проведенной от Солнца к начальному узлу метеора), за 300 лет он совершенно потеряет свое специальное положение и его прохождения будут происходить или сзади Земли, или между Землей и Солнцем, и таблица (J) покажет нам последствия таких прохождений. Эти новые условия движения будут иметь место на протяжении многих десятков тысяч лет. Когда метеор возобновит свое специальное положение, его направление будет изменено уже до такой степени, что его радиант нельзя будет назвать неподвижным по отношению к первоначальному положению.

Это замечание в действительности не имеет никакой цены, ввиду доказанной несостоятельности теории Тернера; но я его сделал здесь, имея в виду частный случай, где принцип Тернера

мог бы иметь, по крайней мере, какое-то чисто абстрактное значение.

Предположим, что перигелий орбиты метеора, обладающий прямым движением, находится на эклиптике прямо в узле, так что плоскость, проходящая здесь через касательные к орбитам Земли и метеора, перпендикулярна к эклиптике. Тогда аберрация движения будет иметь место в той же самой плоскости и для наклонения $i = 45°$ угол аберрации будет также $45°$; следовательно, относительное направление будет перпендикулярно к плоскости эклиптики и радиант будет находиться в полюсе эклиптики[1]. Движение линии апсид делает бесполезным принцип Тернера даже в этом единственном случае[118]. И, действительно, Деннинг дает нам три неподвижных радианта недалеко от полюса эклиптики, в то время как все остальные рассеяны во всевозможных местах неба. Три из этих радиантов находятся, например, около полюса экватора — точки, совершенно безразличной по отношению к движению метеоров.

Так называемые неподвижные радианты около полюса эклиптики интересны не с точки зрения теории Тернера, но по причине следующих соображений, согласующихся с нашим объяснением явления неподвижной радиации.

Наклонения, близкие к $45°$ в вышеуказанных положениях метеорных орбит, имеют свои радианты около полюса эклиптики, ибо для наклонения $i = 43°$ угол аберрации $A = 45°$ приблизительно, откуда широта радианта $\beta = 88°$; для наклонения $i = 48°$ то же самое: A около $45°$ и $\beta = 87°$. Ясно, что, когда только что изложенные условия для наклонений и перигелиев не соблюдаются буквально, радиант не будет в точности в полюсе, но будет к нему более или менее близок.

Из громадного множества комет, которые некогда проходили близко к Земле и при этом произвели свои потоки, очень

---

[1] Для восходящего узла — в южном полюсе.

немногие могли иметь прямое движение, наклонение, близкое к 45°, и перигелий в узле с q, близким к единице.

Эти кометы, так сказать, положили свои радианты около полюса эклиптики, в то время как другие рассеяли их по всему небу, в соответствии с обстоятельствами их движений.

Итак, можно заключить, что около полюса эклиптики мы встретим склад индивидуальных радиантов, происшедших от совершенно различных комет. Индивидуальные части сложного радианта будут видимы в различные эпохи года, и у нас будет на вид один квазииндивидуальный радиант, который может длиться весь год.

Если отдельные орбиты некоторых из этих потоков испытали под влиянием планет (главным образом Юпитера)[1] возмущения узлов; другими словами, когда поток простирается вдоль некоторой дуги эклиптики в течение более или менее значительного времени видимости, радиация этого индивидуального потока, находящегося около полюса, также будет иметь более или менее значительную длительность, независимо от других потоков.

Легко себе представить, что радиации нескольких различных систем могли бы таким образом смешиваться. Но это уже будут подробности, объяснение которых не представляет никаких затруднений.

Рассмотрим неподвижные полярные (по отношению к эклиптике) радианты Деннинга. Этот разбор послужит также лучшему пониманию состава всех других неподвижных радиантов.

Радиант ζ Дракона имеет в каталоге А номер 36, $\alpha = 262°$, $\delta = +63°$. Его центр находится на $3\overset{\circ}{.}5$ от полюса эклиптики. Для его отдельных групп мы будем иметь при известных обозначениях:

---

[1] Th. Brédikhine. Sur quelques systèmes de météores. Известия Академии Наук, 1896, т. V, № 5; т. IV, № 4.

№	Дата			α	δ	ε	v	n
27	1887,	I,	19	261°	+63°	130°	с	4
63	87,	III,	28	263	62	121	м	5
117	78,	IV,	22	263	62	133	б	6
124	87,	IV,	26	260	62	134	м	6
138	86,	V,	8	264	64	135	б	6
140	85,	V,	11	262	64	136	б	4
147	86,	V,	29	264	64	136	м	4
155	85,	VI,	13	262	64	138	м	5
191	85,	VII,	9	266	63	137	м	5
282	80,	VII,	29	257	64	140	м	4
283	87,	VII,	29	263	61	140	м	4
425	79,	VIII,	21	253	64	140	м	7
449	87,	VIII,	23	264	62	140	м	7
508	77,	IX,	7	260	63	139	б	8
617	77,	X,	4	253	64	135	б	4
630	85,	X,	7	262	+64	137	м	5

Далее:

	№	i	π	☊	q	β
1	27	+50°	118°	300°	0.984	+ 1°
2	63	49	193	8	0.998	— 4
3	117	47	219	33	1.005	— 5
	124	46	232	36	1.002	— 6
4	138	45	232	48	1.007	— 3
	140	44	236	51	1.009	— 3
5	147	44	254	69	1.012	— 4
6	155	42	267	83	1.016	— 2
7	191	43	292	107	1.014	— 3
8	282	40	305	127	1.014	+ 1
	283	40	310	126	1.014	— 2
9	425	40	322	149	1.002	+ 4
10	449	40	351	151	0.979	—13
11	508	41	342	166	1.007	+ 2
12	617	45	3	192	0.993	+ 7
	630	+43	10	195	0.995	+ 3

По совокупности элементов i, Ω, q и значений β, принадлежащих к различным группам, можно распознать здесь 12 различ-

ных самостоятельных потоков (12 комет), образующих внешне один неподвижный радиант. Условия для i, q и β здесь удовлетворяются, ибо в действительности средние числа дают:

$$i = 43°6, \quad q = 1.003, \quad \beta = -1°7.$$

Если три группы V месяца принадлежат одному индивидуальному потоку, нужно допустить, что узлы его различных орбит уже рассеялись (как, например, у Орионид) из-за планетных возмущений по дуге эклиптики в 20° и что некоторые из этих орбит сохранили, по крайней мере приблизительно, известные нам условия по отношению к i, q и β.

Для нескольких групп двух других околополярных (для эклиптики) радиантов имеем:

№	Дата	α	δ	ε	v	n
245	1884, VII, 24	260°	+68°	137°	*б*	5
255	87, VII, 27	260	69	136	*с*	7
426	84, VIII, 21	263	69	135	*м*	7
166	87, VII, 18	264	+69	133	*б*	9

	№	i	π	☊	q	β
1	245	43°	298°	122°	1.01	+3°
	255	44	299	125	1.01	+4
2	426	45	326	149	1.01	+2
3	166	48	270	87	1.02	—2

Здесь имеется два или три индивидуальных потока. Условия по отношению к i, q, β также удовлетворяются.

Интересно рассмотреть еще неподвижный радиант около полюса экватора. Мы имеем для него в каталоге А четыре частных группы:

№	Дата	α	δ	ε	v	n
206	1877, VII, 12	295°	+85°	125°	*с*	6
427	87, VIII, 21	296	86	114	*с*	4
497	77, IX, 5	70	85	101	*б*	7
605	77, X, 2	50	+85	103	*б*	9

№	i	π	☊	q	β
206	53°	263°	111°	0.959	+22°
427	66	313	149	0.968	+15
497	79	331	164	0.995	+12
605	77	28	190	0.975	—18

В этих четырех группах мы различаем четыре различных потока (кометы).

Остается только повторить здесь то, что мы уже сказали выше. Неподвижный радиант не происходит от одного индивидуального потока или от одной кометы: его нужно назвать «сложный радиант», ибо он произведен несколькими кометами или независимыми потоками. Явление столь просто, что всякая запутанная искусственная теория излишня.

Известно, что Деннинг всегда настаивал больше всех на индивидуальности каждого неподвижного радианта, на его нераздельности. Но это было недоразумение и источник неустойчивых теорий. Благодаря многочисленным и тщательным наблюдениям Деннинга явление, потеряв свою мнимую индивидуальность, разложилось и объяснилось.

1899, декабрь.
(Известия Академии Наук, 1900, январь, т. XII, № 1).

2

В моей записке об орбитах Акварид[1] я обозначил, как систему сложную или составную, систему орбит, у которых простой пучок, произошедший от разложения кометы, стал более широким и расходящимся, оттого что его отдельные орбиты испытали возмущения от какой-либо большой планеты,— возмущения, достаточно сильные и неодинаковые для всех орбит. Его можно назвать потоком II порядка, чтобы отличать его от простых потоков I порядка.

---

[1] Sur l'origine et les orbites du système des Aquarides. Известия Академии Наук, 1896, апрель, т. IV, № 4.

У Акварид, например, различные орбиты стали настолько расходиться между собой, что длительность радиации стала охватывать 26 дней, а положение радианта (площади радиации) остается все это время почти одним и тем же.

Немного позже я указал еще на несколько систем метеоров II порядка, более или менее усложненных планетными возмущениями [1], причем длительность радиации охватывает от 5 до 15 дней с почти неизменными положениями радиантов.

Заметим здесь, что радианты всех этих систем не числятся Деннингом между его неподвижными радиантами: в его списке последних [2] самая короткая длительность радиации охватывает 60 дней (ξ Возничего).

Наконец, в записке «О сложных радиантах»[3] я развил мою идею, что каждый неподвижный радиант Деннинга не происходит от одного индивидуального потока или от одной кометы, но что он произведен несколькими независимыми потоками или кометами (стр. 119).

В числе этих частных элементарных потоков мы должны конечно, встретить не только простые потоки I порядка, но также и потоки II порядка, орбиты которых уже испытали расхождение, вызванное возмущающими действиями больших планет. Я уже указал на это обстоятельство в моей записке, цитированной выше (стр. 101, 107, 117, 118 и 119 [119]), по отношению к неподвижным радиантам Деннинга, носящим номера: 6, 36 и 38 (VI, XXXVI, XXXVIII).

Что касается неподвижных радиантов Деннинга, то их естественно назвать сложными радиантами III порядка, ибо они являются, так сказать, дважды составными.

Никогда не надо упускать из виду, что термин «точка радианта» — порочное выражение, потому что радиант никогда

---

[1] Sur quelques systèmes des météores. Там же, 1896, декабрь, т. V № 5.

[2] Denning. Catalogue of Radiant Points... (обозначенный у меня буквой A). Monthly Notices of the R. A. S., vol. L, pp. 466—467.

[3] Известия Академии Наук, 1900, январь, т. XII, № 1.

не является точкой, но целой площадью радиации, и даже довольно большой. Сам Деннинг в своем новом каталоге[1] (см. В, карта точек радиантов, лист 4) дает диаметр в 7° всем своим радиантам.

В число радиантов II порядка должны быть также отнесены те радианты, у которых расхождение отдельных орбит потока и, кроме того, элементы таковы, что площадь радиации не может более заключаться в неподвижном круглом контуре на сфере в течение всего времени радиации, но смещается со временем. Нанося на звездную карту ее последовательные положения, мы получаем полосу, или зону.

У Персеид, например, зона радиации простирается между 11° и 55° по прямому восхождению и между +48° и +63° по склонению; следовательно, она имеет ширину в 15°. Время видимости или длительности радианта охватывает 40 дней.

После нашего разложения на части сложных радиантов будет интересно проанализировать их частные потоки II порядка в отношении планетных возмущений, которые они могли испытать. Последний каталог Деннинга (В) очень полезен для этого исследования.

Я считаю почти излишним говорить, что каждый радиант I порядка и тем более II порядка, появление которого повторяется в различные годы, без сомнения принадлежит потоку с эллиптическими орбитами.

Тернер тщетно пытается защищать предложенную им теорию неподвижных радиантов[2] и потому отказывается понимать мое возражение, в котором я показал точным вычислением[3], что основной принцип этой теории есть не более, как ошибка

---

[1] General Catalogue of the Radiant Points. W. Denning. Mem. of the R. A. S., vol. LIII (обозначен у меня буквой В).

[2] Monthly Notices of the R. A. S., vol. LX, № 7, April 1900 (pp. 450—458). Ibid., vol. LIX, № 3, January 1899 (pp. 140—151).

[3] Th. Brédikhine. Sur les radiants composés... Известия Академии Наук, январь. 1900, т. XII, № 1, стр. 95—120.

в самом замысле. Может быть, мой путь был слишком серьезен; в таком случае можно выбрать другой, более элементарный.

Итак, напомним сперва отдельные особенности этих специальных метеоров потока, относительно которых принято считать, что они одни способны образовать неподвижный радиант.

При прохождениях около Земли метеоры никогда не смеют удалиться от самой кривой земной орбиты: возмущения, вызванные не только планетами, но также и Землей, тщетно пытаются отклонить их от этой линии; тщетно эта орбита посредством движения своей большой оси пытается освободиться от их крайней близости... Затем каждый из этих метеоров должен при своих последовательных встречах пересекать земную орбиту один раз спереди, а другой сзади от центра планеты на равных (в среднем) расстояниях, упорно избегая, при этих условиях, в течение необозримого времени[1] падения на Землю, несмотря на повелительный призыв теории вероятностей.

Чтобы эти избранные метеоры — ничтожная часть всего потока — могли хорошо выполнить свое назначение, для них были предусмотрены и среда, сопротивляющаяся и послушная, и вращение пучка орбит вокруг его оси (?), и «притягательный эффект Земли (стр. 455) на орбиты метеоров, проходящих около нее» (?)[120]; одним словом, все dei ex machina.

Эти специальные метеоры потока — не следует ли нам их назвать магическими метеорами? Ибо они, наделенные самыми таинственными свойствами, пляшут без конца вокруг Земли, как магические шарики в руках фокусника.

Но допустим на момент сверхъестественное и нелепое существование подобного волшебного метеора и воспользуемся случаем вернуться к основам теории — к принципам, к новым законам (стр. 453) относительного движения[121].

Мы читаем (стр. 452): «Если бы Земля была в покое и метеор (волшебный метеор.— *Ф. Бр.*) проходил около нее, его

---

[1] Тернер. Там же, стр. 150.

путь был бы отклонен» — возмущающим действием Земли в ее сфере действия. И далее:

«(a) Величина скорости при вступлении и выходе (из этой сферы.— *Ф. Бр.*) — та же самая».

«(b) Однако направление изменилось, будучи отклонено в плоскости, проходящей через центр Земли».

Заметим эту плоскость.

«Теперь, взяв два прохождения через сферу действия, расположенных симметрично по противоположным сторонам Земли, мы имеем:

«(a) Величина скорости все еще не изменилась.

«(b) Так как отклонения в обоих случаях равны и противоположны, они уничтожают друг друга, и общее отклонение есть нуль».

Да, при том явном или неявном предположении, что плоскость действия Земли остается той же самой при этих обоих прохождениях.

Но когда рассматриваются относительные движения, надлежит ввести в вопрос условия, налагаемые свойствами истинных абсолютных движений, являющихся причиной этих относительных движений; иначе мы впадем в опасность сделать обобщения, предел которых — бессмыслица. И вот пример:

«Теперь, что верно для действительного движения метеоров, когда Земля в покое, верно и для относительного движения, когда и Земля и метеоры находятся в движении».

Нет, извините, это было бы верно при том единственном условии, что равномерное движение Земли было бы прямолинейным; это ложно, ошибочно в случае кругового движения (или вообще криволинейного), ибо тогда положение плоскости действия Земли меняется — при каждой встрече — со смещением узла метеорной орбиты по кругу траектории Земли.

Разделим дугу земной орбиты (рис. 14) на малые прямолинейные части *ab*, *bc*, *cd*,..., совпадающие с касательными или с хордами между узлами последовательных встреч волшебного метеора с Землей. Острые углы между *ab* и *bc*, *bc* и *cd*... равны

δ☊, другими словами, смещению узла волшебной орбиты после каждой встречи.

Стрелки указывают направления движения Земли и метеора.

Волшебный метеор *M* пересекает эклиптику в узле *b* (спереди от Земли): возмущающее действие Земли совершается в плоскости *cbM*, или *cn*, или *bn*, и придает метеору другое направление *bqh* в той же самой плоскости *bn*.

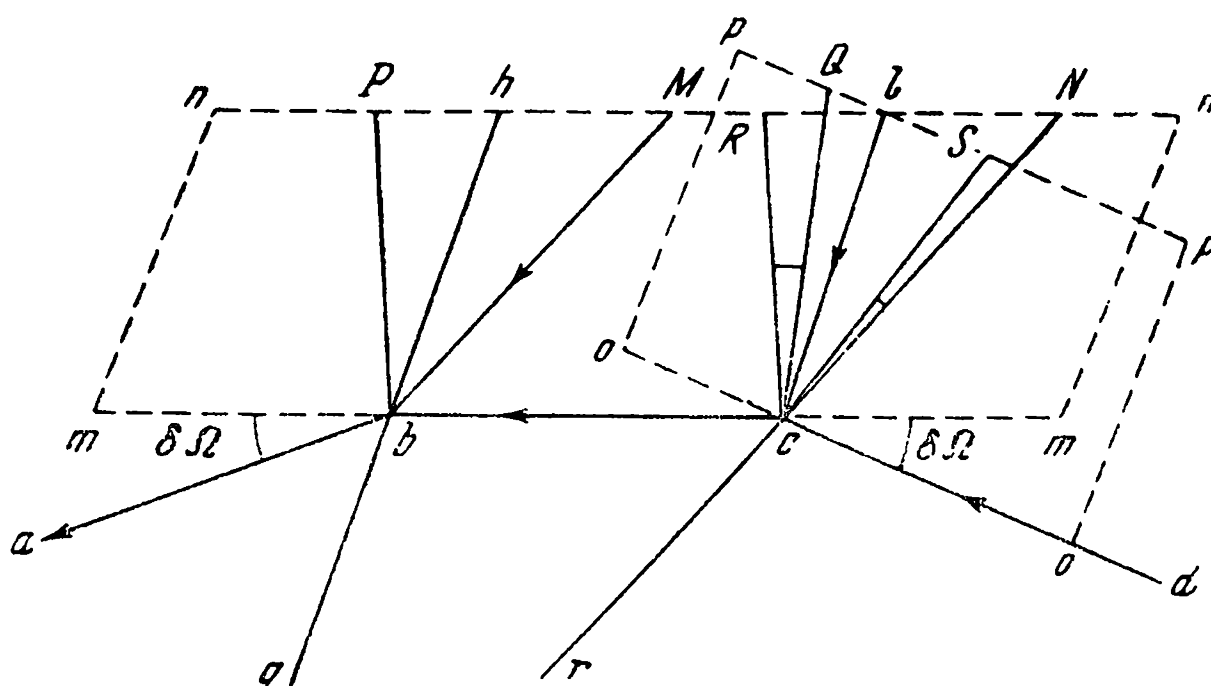


Рис. 14

Имея это направление, волшебный метеор возвращается при другой встрече по направлению *lc* и пересекает эклиптику в *c* (сзади от Земли) так, что направление *lc* параллельно *bh*. В этом новом узле *c* возмущающее действие Земли имеет место уже не в предшествующей плоскости *bn*, но в другой плоскости: *oplc* или *cp*.

Нельзя забывать этого обстоятельства!

Направление движения метеора *lc* изменится здесь на *crS* в плоскости *cp*.

Надо хорошенько подумать об этой новой плоскости!

Линия *cN*, параллельная начальному направлению метеора *bM*, находится в плоскости *cn* и образует угол *ScN* с направлением *cS* метеора после двух его прохождений (спереди и сзади от Земли).

При допущении, что эти прохождения были симметричными по отношению к центру Земли и что, следовательно, абсолютные величины двух отклонений направления были равны, они не могли взаимно уничтожиться, потому что, будучи расположены в различных плоскостях, они не в точности противоположны друг другу.

Легко видеть, что направление относительного движения[1] в c есть, например, Rc (в плоскости cn), имеющее в b свою параллель bP в плоскости bn.

Вспомним, что направление относительного движения находится в той же самой плоскости, в которой находятся направления движений метеора и Земли.

Истинное направление cS будет после второй встречи иметь соответствующее относительное направление cQ в плоскости cp. Еще раз не следует забывать различия между плоскостями действия Земли. Эти оба направления, cR и cQ, не совпадают, вопреки рассматриваемой теории.

Это именно то, что я указал в моей, прежде упомянутой, записке (стр. 115): «забыли, что узел орбиты метеора не всегда остается на прямой линии, но должен быть проведен по овальной орбите Земли» и т. д. [122].

Мы могли бы начать наши предыдущие рассуждения с направлений относительного движения и перейти затем к направлениям истинного движения. Результаты останутся тождественными: направление волшебного метеора, иначе говоря, направление его истинной скорости (или относительной) после двух прохождений около Земли далеко не будет тем же самым, а образует угол NcS (соответственно RcQ) с начальным направлением, другими словами, с линией, параллельной этому направлению.

Не стоит труда вычислять таким способом углы RcQ; самое большее можно их представить схематически [123]:

$$\cos(RcQ) = \cos^2(Rcl) + \sin^2(Rcl)\cdot\cos(f(\delta\,\Omega)).$$

[1] Соответствующего истинному движению lc.

Каждый может составить себе представление о последующих приращениях величины угла RcQ, происшедших вслед за последовательными двойными встречами.

Отметим здесь, что способ, с помощью которого Тернер предполагает выводить свой квазипринцип сохранения относительных скоростей [1], прилагается равным образом к абсолютным скоростям. Но этот вывод ошибочен как для тех, так и для других.

В моей записке я указал (стр. 114—115) [124] другой способ для вычисления положения радианта волшебных метеоров с помощью δi и $\delta \Omega$, а также для того, чтобы убедиться, что это — не неподвижный радиант, а скорее блуждающий радиант.

Величина $\delta \Omega$ очень мала, как я показал в упомянутой записке, однако претендуют, что она может достигать до нескольких десятков градусов,— ну что же, огромный ряд небольших величин [2] углов RcQ, будучи просуммирован, также может стать весьма большим, как мы это только что видели. Вот один из наиболее простых примеров.

Допустим, что орбиты волшебных метеоров, предназначенных для образования некоего неподвижного радианта, пересекают эклиптику в том месте, где их $\Omega = 0$; что встреча происходит в плоскости касательной к орбите Земли и перпендикулярной к плоскости последней; что угол между направлениями Земли и метеоров составляет 30° (другими словами, наклонение $i = 30°$); что движение прямое.

Тогда координаты начального потока относительно эклиптики будут: $l = 270°$, $b = 30°$; прибавляя угол аберрации движения A, который в нашем случае равен 20°, будем иметь координаты начального радианта:

$$\lambda = 270°, \qquad \beta = 50°,$$

[1] Тернер. Там же, стр. 143—144.

[2] Они очень малы, но конечны, порядка $\delta\mathfrak{a}$; игра на бесконечно малых величинах здесь ничему не послужит.

Обычно употребляемые для радиантов экваториальные координаты будут:

$$\alpha = 270°, \qquad \delta = 27°. \qquad (1)$$

Чтобы произвести неподвижный радиант с продолжительностью 6 месяцев, ☊ должен переместиться — за несколько миллионов лет или, вернее, к концу света — и стать ☊ $= 180°$, причем i остается тем же самым (см. мою записку). Тогда координаты потока относительно эклиптики будут: $l' = 90°$, $b' = 30°$; координаты радианта относительно эклиптики $\lambda = 90°$, $\beta = 50°$, и для радианта относительно экватора будем иметь:

$$\alpha' = 90°, \qquad \delta' = 73°. \qquad (2)$$

Сравнение выражений (1) и (2) показывает нам, что направление относительного движения через 6 месяцев образует с направлением начального движения (с линией, параллельной к последнему), наблюденного за 6 месяцев до того, угол в 80°. Вот поистине волшебный радиант, противоречащий теории.

Итак, мы видим, что эта новая и претенциозная теория обезглавлена на ошибочном принципе относительных скоростей, обладающих таинственными свойствами, и, следовательно, она должна рассматриваться как огромная ошибка. Украшения этой теории, ее вытащенные за волосы тонкости, как вращение пучков орбит вокруг их осей, особого рода [125] притягательный эффект Земли на метеорные орбиты и т. д. и т. д., — все это ниже всякой сколько-нибудь серьезной критики [126].

1900, сентябрь.

(Известия Академии Наук, 1900, сентябрь, т. XIII, № 2)

ОБ УЧАСТИИ ЮПИТЕРА В ОБРАЗОВАНИИ СЛОЖНЫХ РАДИАНТОВ

Все знают очень хорошо, что Деннинг видел вообще в каждом радианте, кажущемся неподвижным[1] (то есть обладающим одинаковыми видимыми координатами, с точностью до нескольких градусов), индивидуальный метеорный поток, образующий одно семейство метеоров и, следовательно, принадлежащий одной комете, согласно теории о кометном происхождении метеоров.

Идея этого родства казалась столь естественной, что иногда забывали громадную разницу между истинным направлением потока в пространстве и его направлением видимым, которое изображается координатами радиантов, приведенными в каталогах не освобожденными от влияния движения Земли.

Для тех, кто желает приписать происхождение метеоров преимущественно распаду комет при их прохождении через сферу действия некоторой большой планеты, в первую очередь Юпитера, метеоры одного потока составляют естественным образом одно семейство миниатюрных комет, произведенных разлагающим действием Юпитера, например.

Однако, если две орбиты каких-либо метеоров одного семейства встречают Землю после прохождения около Юпитера, очевидно, что плоскости этих орбит, или соответствующие большие

[1] Th. B r é d i k h i n e. Sur les radiants composés... Известия Академии Наук, 1900, январь, т. XII, № 1 и 1900, сентябрь, т. XIII, № 2

круги, должны пересекаться около большого круга орбиты Юпитера или же почти на эклиптике; в этом — первое условие (I).

Затем для каждой из этих орбит должно выполняться еще одно условие, выражающее, что орбита может встречать и орбиту Юпитера и орбиту Земли.

Для орбиты метеора

$$r = \frac{q(1+e)}{1+e\cos v}, \quad q = a(1-e).$$

В случае встречи с Землей

$$1 = \frac{q(1+e)}{1+e\cos v_0}$$

и с Юпитером

$$5.2 = \frac{q(1+e)}{1-e\cos v_0},$$

откуда

$$1 + e\cos v_0 = q(1+e), \qquad (1)$$

$$5.2 - 5.2\cdot e\cos v_0 = q(1+e), \qquad (2)$$

$$e\cos v_0 = 0.677.$$

Из выражения (1) вытекает:

$$a(1-e^2) = q(1+e) = 1.677. \qquad \text{(II)}$$

Принимая какое-либо значение для q, мы находим e; с помощью e получаем a и v_0. Таким образом, для $a = 3.097$ мы находим $q = 1$, $e = 0.677$, $v_0 = 0$; это — эллипсис, афелий которого встречает орбиту Юпитера и ось которого совпадает с линией узлов. Затем имеем:

q	e	a	v_0
0.952	0.762	40	27°3
0.900	0.863	6.6	38.3
0.861	0.946	16,0	44.3
0.840	1.000	∞	47.4

Если $q = 0.86$, эллипсис простирается уже далее орбиты Нептуна, а для $q = 0.84$ он преобразуется в параболу. Следовательно, все эллиптические орбиты, имеющие $q < 0.86$, не

могут приходить к Земле после встречи с одной из больших планет.

Ясно, что это правило неприменимо в том случае, когда наклонение орбиты i достаточно мало для того, чтобы эллипсисы с любыми значениями q между 1 и 0,01 могли встречать орбиты какой-либо из больших планет.

В 44 радиантах, указанных как неподвижные у Деннинга (номер 36 оставлен в стороне, как радиант особого рода), можно насчитать 269 отдельных орбит, а из них 157, у которых $q < 0.86$; исключая 19 орбит, у которых наклонение очень мало, и две, у которых $q < 0.01$, имеем 136, не приходящих в соседство с большими планетами, и 133, которые могут их встречать.

Орбита Юпитера не входит внутрь орбит первой группы, независимо от величин их больших осей; с этой точки зрения мы их назовем внешними (внешн.). Для предельных значений q они могут пересекать сферы действия планет; другие орбиты, имеющие q между 1 и 0.86, будут, наоборот, называться внутренними (внутр.). Орбита Юпитера, вообще говоря, проходит внутри этих орбит, начиная с $a = 3.1$, но она их пересекает, когда величины q и a связаны между собой условием (II)[127].

Что касается других больших планет, пределы внутренних метеорных орбит становятся более тесными. Для Сатурна, например, условием встречи будет: $q(1 + e) = a(1 - e^2) = 1.810$; если $a = \infty$, то $e = 1$, $q = 0.905$, $v_0 = 36^\circ\!.0$; для $a = 16.0$; $e = 0.942$, $q = 0.932$ и $v_0 = 30^\circ\!.7$.

Видно, что многие метеорные орбиты, являющиеся внутренними для Юпитера, становятся внешними для Сатурна, и т. д.

Внешние орбиты, по причине повторения явления, должны рассматриваться как эллиптические, хотя их метеоры и не проходили около Юпитера. Следовательно, производящие кометы породили их под влиянием разлагающегося действия Солнца, а с моей точки зрения — в результате истечения кометного вещества. Нужно считать, что внутренние кометы никоим образом не гарантированы от этого деятеля, роль которого гораздо более общая, чем роль Юпитера с его разлагающим действием,

и под его влиянием каждая параболическая комета с умеренным расстоянием перигелия, только что пришедшая в нашу солнечную систему, может произвести после своего прохождения через перигелий целое семейство эллиптических орбит, в то время как для подобной кометы шансы встречи непосредственно со сферой деятельности Юпитера очень слабы.

Эллиптические орбиты с различными a, e, T, произведенные таким способом, имеют много шансов, оставаясь в солнечной системе, встретить возмущающую планету, а некоторые из их пучков орбит могут пройти через ее сферу деятельности и испытать громадные изменения. Но орбиты, как внутренние, так и внешние, если отвлечься в отношении этих последних от их возможных прохождений весьма близко от планеты, будут испытывать более или менее значительные возмущения, главным образом со стороны Юпитера.

Чтобы составить об этом представление, нужно вычислить, на каком расстоянии от Юпитера или от его орбиты проходит заданная орбита метеора. Достаточное для нашей цели приближение будет получено следующим, весьма простым, способом[128]. Пусть ω — угол между перигелием и восходящим узлом, отсчитываемый согласно Гауссу; i — наклонение орбиты; x — угол, который образует радиус-вектор метеора с плоскостью эклиптики; v — истинная аномалия метеора для радиуса-вектора r, равного радиусу орбиты Юпитера, иными словами, равного 5.2; $180°- v = \beta$; $\omega + 180° = \alpha$ — угол между восходящим узлом и афелием. Для отрицательной аномалии метеора будем иметь $\alpha + \beta$, а для положительной аномалии $\alpha - \beta$. Тогда

$$\sin x = \sin(\alpha \mp \beta) \sin i,$$

и расстояние между метеором и орбитой Юпитера

$$\Delta = 2r \sin \frac{x}{2}.$$

Чтобы найти пересечение плоскостей орбит, имеющих наклонения i и i' и различие узлов $\delta\Omega$, удобно употреблять

известные аналогии:

$$\operatorname{tg}\frac{1}{2}(a+b) = \operatorname{tg}\frac{c}{2}\,\frac{\cos\frac{1}{2}(A-B)}{\cos\frac{1}{2}(A+B)},$$

$$\operatorname{tg}\frac{1}{2}(a-b) = \operatorname{tg}\frac{c}{2}\,\frac{\sin\frac{1}{2}(A-B)}{\sin\frac{1}{2}(A+B)},$$

где $c = \delta\Omega$, $A = i$, $B = i'$.

Чтобы облегчить вычисление β для различных параболических орбит в случае Юпитера, мы вычислили следующую таблицу:

q	β	q	β	q	β	q	β	q	β
0.00	0°	0.20	23°	0.40	32°	0.60	40°	0.80	46°
0.01	3	0.21	23	0.41	33	0.61	40	0.81	46
0.02	6	0.22	24	0.42	33	0.62	40	0.82	47
0.03	8	0.23	24	0.43	33	0.63	41	0.83	47
0.04	9	0.24	25	0.44	34	0.64	41	0.84	48
0.05	11	0.25	25	0.45	34	0.65	41	0.85	48
0.06	12	0.26	26	0.46	35	0.66	42	0.86	48
0.07	13	0.27	26	0.47	35	0.67	42	0.87	48
0.08	14	0.28	27	0.48	35	0.68	42	0.88	48
0.09	15	0.29	27	0.49	36	0.69	43	0.89	49
0.10	16	0.30	28	0.50	36	0.70	43	0.90	49
0.11	17	0.31	28	0.51	37	0.71	43	0.91	49
0.12	17	0.32	29	0.52	37	0.72	44	0.92	50
0.13	18	0.33	29	0.53	37	0.73	44	0.93	50
0 14	19	0.34	30	0.54	38	0.74	44	0.94	50
0.15	19	0.35	30	0.55	38	0.75	45	0.95	51
0.16	20	0.36	31	0.56	38	0.76	45	0.96	51
0.17	21	0.37	31	0.57	39	0.77	45	0.97	51
0.18	21	0.38	31	0.58	39	0.78	46	0.98	52
0.19	22	0.39	32	0.59	39	0.79	46	0.99	52
0.20	23	0.40	32	0.60	40	0.80	46	1.00	52

Для эллиптической орбиты, имеющей $a = 4.0$, таблица становится такой:

q	β	q	β	q	β	q	β	q	β
0.00	0°	0.20	13°	0.40	18°	0.60	22°	0.80	25°
0.01	3	0.21	14	0.41	19	0.61	22	0.81	26
0.02	4	0.22	14	0.42	19	0.62	23	0.82	26
0.03	5	0.23	14	0.43	19	0.63	23	0.83	26
0.04	6	0.24	15	0.44	19	0.64	23	0.84	26
0.05	7	0.25	15	0.45	20	0.65	23	0.85	26
0.06	7	0.26	15	0.45	20	0.66	23	0.86	26
0.07	8	0.27	15	0.47	20	0.67	24	0.87	26
0.08	8	0.28	16	0.48	20	0.68	24	0.88	26
0.09	9	0.29	16	0.49	20	0.69	24	0.89	27
0.10	9	0.30	16	0.50	21	0.70	24	0.90	27
0.11	10	0.31	16	0.51	21	0.71	24	0.91	27
0.12	10	0.32	17	0.52	21	0.72	24	0.92	27
0.13	11	0.33	17	0.53	21	0.73	24	0.93	27
0.14	11	0.34	17	0.54	21	0.74	24	0.94	27
0.15	12	0.35	17	0.55	21	0.75	25	0.95	27
0.16	12	0.36	18	0.56	22	0.76	25	0.96	27
0.17	12	0.37	18	0.57	22	0.77	25	0.97	27
0.18	13	0.38	18	0.58	22	0.78	25	0.98	28
0.19	13	0.39	18	0.59	22	0.79	25	0.99	28
0.20	13	0.40	18	0.60	22	0.80	25	1.00	28

Переход к эллиптическим орбитам обеспечивается величиной a, выбираемой по надобности. При этом переходе можно сохранить параболическое значение q, ибо этот элемент, так сказать, является наиболее устойчивым. Мы в этом убеждаемся, когда вычисляем эллиптические орбиты, происшедшие из параболы под действием истечений из ядра. Пусть начальная скорость $g = 0.1$, ее угол с радиусом-вектором $G = 0$; угол радиуса-вектора с касательной к орбите b; истинная аномалия $v = +45°$; расстояние перигелия q; H — орбитальная скорость кометы; A и Q — большая полуось и перигельное расстояние производной эллиптической орбиты[129]. Тогда мы получим:

q	0.02	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
$\lg r$	8.3698	9.0688	9.3698	9.6708	9.8469	9.9719	1.0688
H_1^2	84.66	16.76	8.322	4.120	2.726	2.032	1.617
A	1.44	3.25	4.69	6.79	8.37	9.76	11.05
Q	—	0.09	0.20	0.41	0.62	0.83	—

Полагая угол $G = +45°$, будем иметь как дополнение для иллюстрации:

q	0.02	0.60	1.00
$\lg r$	8.3698	9.8469	0.0688
H_1^2	83.66	2.543	1.476
A	0.60	3.32	4.32

Итак, видим, что в то время, как a изменяется в широчайших пределах, q меняется сравнительно очень мало.

Заметим мимоходом, что в кометных истечениях мы находим необъятный источник метеоров, имеющих всевозможные эллиптические орбиты, и этих метеоров может хватить для образования сложных радиантов при любом положении Земли на ее орбите, равно как и радиантов у полюса эклиптики, и притом не только в настоящую эпоху, но и в будущем.

Предположим теперь, что дело идет о том, чтобы превратить параболическую орбиту метеора, имеющую перигельное расстояние q, в эллипсис с большой полуосью a. Оставляя q неизмененным, находим эксцентриситет e и полупараметр p эллипсиса. Для встречи с Землей парабола дает истинную аномалию v_0, а эллипсис — v_0'; разность $v_0' - v_0$ будет равна разности долгот перигелиев и соответственных афелиев (считая по орбите), то есть $v_0' - v_0 = \delta\omega = \delta\alpha$.

Когда встреча метеора с Землей происходит до перигелия метеорной орбиты, величина $\delta\alpha$ имеет знак (+); после этого прохождения нужно брать знак (—)[130].

Примем, например, $a = 4.0$ и будем иметь для различных q:

q	$\delta\alpha$	q	$\delta\alpha$
0.02	1.9	0.60	4.2
0.20	2.8	0.70	4.1
0.30	3.2	0.80	3.5
0.40	3.6	0.90	2.9
0.50	4.3	1.00	0.0

С увеличением a уменьшается $\delta\alpha$; для $a = 6.0$, например, $\delta\alpha = 2\overset{\circ}{.}3$...

Примечание. Я нахожу бесполезным воспроизводить здесь целиком мою заметку о сложных радиантах (Известия Академии Наук, 1900, сентябрь, т. XIII, № 2), где для каждого частного радианта прибавлены его «внешние физические признаки» согласно Деннингу. В самом деле, легко убедиться, что эти внешние признаки, почти исключительно касающиеся видимой скорости метеоров, не представляют никакой важности при индивидуализации так называемых неподвижных потоков. Они, как правило, меняются для одного и того же радианта в соответствии с изменением элонгации от апекса. Поэтому эти внешние признаки не приведены в настоящей статье [131].

Перейдем теперь к 45 квазинеподвижным радиантам списка Деннинга и начнем с радианта 36, находящегося около полюса эклиптики[1]:

№	Встреча	n	q	i	☊	ω
27	Нисход.	1	0.984	+50°	300°	178°
63	»	2	0.998	49	8	185
117	»	3	1.005	47	33	186
124	»	4	1.002	46	36	188
138	»	5	1.007	45	48	184
140	»	6	1.009	44	51	185
147	»	7	1.012	44	69	185
155	»	8	1.016	42	83	184
191	»	9	1.014	43	107	184
282	»	10	1.014	40	127	178
283	»	11	1.014	40	126	184
425	»	12	1.002	40	149	174
449	»	13	0.979	40	151	201
508	»	14	1.007	41	166	177
617	»	15	0.993	45	192	171
630	»	16	0.995	43	195	175

С помощью средних арифметических данных для номеров (3,4), (5,6), (10,11), (15,16) вычислим величины Δ по отношению к Юпитеру:

---

[1] Th. Brédikhine. Sur les radiants composés... Известия Академии Наук, 1900, январь, т. XII, № 1 и 1900, сентябрь, т. XIII, № 2. Также Astr. Nachr., B. 151, № 3623.

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
1	358°	52°	Внутр.	—	3.41	3.21	I
2	5	52	»	+	3.00	3.49	I
(3,4)	7	52	»	+	2.79	3.46	I
(5,6)	5	52	»	+	2.79	3.24	I
7	5	53	»	+	2.79	3.22	I
8	4	53	»	+	2.72	3.06	I
9	4	53	»	+	2.78	3.12	I
(10, 11)	1	53	»	+	2.73	2.81	I
12	354	52	»	—	2.96	2.48	I
13	21	52	»	+	1.75	3.38	I
14	357	52	»	—	2.91	2.66	I
(15, 16)	353	52	»	—	3.26	2.64	I

Так как эти орбиты внутренние, точки, соответствующие $\alpha - \beta$, находятся с одной стороны от линии узлов, а точки для $\alpha + \beta$ — с другой стороны.

Различия в несколько градусов в ☊ могут происходить из за конической формы сектора истечений; но столь большие различия уже показывают, что почти все орбиты этого номера чужды друг другу. Отметим еще, что они не пересекаются около эклиптики и, следовательно, не могут быть произведены действием Юпитера или других планет. Величины Δ показывают даже, что обычные возмущения от Юпитера, в нашем вопросе, довольно умеренны. Этот радиант служит для подтверждения мысли об образовании метеоров путем истечений веществ к Солнцу. Надо ли делать нелепое предположение, что все эти эллипсисы по отдельности касаются орбиты Юпитера в их афелиях и что эта планета, по причине почти идентичных параметров этих орбит, распространила их по всей земной орбите? Этот радиант подтверждает также мысль о бесчисленном множестве метеоров, которые движутся вокруг Солнца и из которых можно образовать радианты всякого рода. Отметим еще, что недалеко от этого полярного (для эклиптики) радианта мы находим еще два радианта (каталог Деннинга B, номера 201 и 213), элементы которых q, i и ω представляют особенности, свойственные

полярным радиантам, но с меньшей точностью, так как эти радианты более удалены от полюса.

Приведенные выше величины Δ вычислены для параболической орбиты. Для эллиптической орбиты, у которой $q = 1$, $i = 45°$, $a = 4$, мы найдем в отношении к Юпитеру $\Delta = 1.75$; для той же самой орбиты, с $a = 11$, $\Delta = 2.69$, а для параболы — $\Delta = 2.77$. Как видно, возмущения от Юпитера всегда будут слабы. Повторение явления указывает на эллиптичность орбит, и это может быть объяснено, если принять истечения у производящей кометы после ее прохождения через перигелий.

№	Встреча	n	q	i	☊	ω
I 210	Нисход.	1	0.900	166°	112°	220°
293	»	2	0.427	163	128	279
294	»	3	0.485	163	129	273
318	»	4	0.372	161	133	285
412	»	5	0.058	120	148	332
431	»	6	0.112	114	150	321
456	»	7	0.042	80	151	336
465	»	8	0.023	87	153	342
529	»	9	0.158	17	173	313
561	»	10	0.296	12	177	294
574	»	11	0.322	9	180	201

Взяв среднее из величин для номеров (2,3), (5,6), (7,8) и вычисляя для параболы Δ, а Δ_1 — для эллипсиса, у которого $a = 4.0$, будем иметь:

	α	β	β_1	Расположение	$\delta\alpha$	Δ		Δ_1		Порядок
1	40°	49°	27°	Внутр.	+3°	0.20	1.27	0.33	1.19	I
(2, 3)	96	35	20	Внешн.	4	1.34	1.16	1.40	1.33	II
4	105	31	18	»	4	1.65	1.23	1.65	1.37	II
(5,6)	147	14	8	»	4	3.61	1.92	1.29	2.03	I
(7, 8)	149	8	5	»	2	2.59	1.17	2.15	1.26	I
9	133	17	10	»	3	1.38	0.76	1.24	0.85	II
10	114	28	16	»	3	1.08	0.68	1.07	0.73	II
11	111	29	17	»	+3	0.81	0.52	0.79	0.62	II

Внешние орбиты, то есть все орбиты, начиная с номера 2, не проходят около орбиты Юпитера (и тем более около других больших планет) и поэтому не могут испытать заметных изменений в i и q; мы имеем право разделить их следующим образом: номер 1 — I порядка; номера 2, 3 и 4 — II порядка, с некоторыми возмущениями в i, ☊ и q; номера 5 и 6 — I порядка; 7 и 8 — то же самое; наконец, 9, 10 и 11 — II порядка, с возмущениями в i, ☊ и q.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
II	185	Нисход.	1	1.012	129°	106°	172°
	193	»	2	0.016	130	110	179
	200	»	3	0.968	128	111	155
	218	»	4	1.012	130	115	173
	248	»	5	0.889	125	124	221
	250	»	6	0.895	129	125	221
	259	»	7	0.916	127	126	217
	277	»	8	0.906	126	127	218
	286	»	9	0.851	127	128	227
	319	»	10	0.815	129	132	233
	336	»	11	0.791	121	136	236
	356	»	12	0.702	117	138	247
	369	»	13	0.540	118	140	266
	375	»	14	0.560	120	140	264
	384	»	15	0.578	122	142	262
	400	»	16	0.647	118	144	254
	419	»	17	0.469	104	149	274
	620	»	18	0.542	33	193	265
	631	»	19	0.533	30	196	266

Возьмем среднее для номеров (2, 3, 4), (5, 6, 7), (8,9), (10, 11, 12), (13, 14, 15, 16) и (18, 19):

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
1	352°	52°	Внутр.	—	3.75	2.92	I
(2—4)	349	52	»	—	3.88	2.75	II
(5—7)	40	49	»	+	0.65	4.63	II
(8, 9)	43	48	»	+	0.36	4.63	II
(10—12)	59	45	Внешн.	+	1.07	4.83	II
(13—16)	82	39	»	+	3.23	4.23	II
17	94	35	»	+	4.94	4.31	II
(18, 19)	86	38	»	+	2.09	2.34	I

Внутренние орбиты, имеющие номера 1—9, не проходят через сферу деятельности Юпитера; некоторые из них могут испытывать значительные возмущения, проявляющиеся в i, ☊ и q. Орбиты номеров 10—17, будучи внешними, не проходили около Юпитера и образуют отдельный поток II порядка или принадлежат предыдущему потоку. Номера 18 и 19 представляют собой отдельный поток, хотя бы из-за их прямого движения. Знаки величин $\delta\alpha$ даны для случая прохождения по эллиптической орбите. Простое обозрение величин i и ☊ показывает нам ясно, что орбиты не пересекаются около эклиптики; действительно, для орбит 1 и 8 их общее пересечение удалено от эклиптики на 89°.7 по орбите 1 и на 76°.7 по орбите 8; для орбит 9—17 эти углы составляют соответственно 47°.8 и 37°.6.

Кроме того, эти орбиты — внешние, и их вычислять излишне. Следовательно, условие (I) не удовлетворено, и роль Юпитера здесь такова же, как и в отношении Орионид [132].

Для сравнительно более густой части потоков II порядка имеем следующие числа:

	m		m
1877	21	1870	16
1878	17	1872	20

Отсюда время обращения $T = 6.5$ и $a = 3.5$; впрочем, эти числа не заслуживают большого доверия.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
III	442	Нисход.	1	1.012	90°	151°	180°
	466	»	2	1.005	92	153	187
	531	»	3	0.925	85	173	213
	557	»	4	0.929	85	176	212
	602	»	5	0.839	77	188	227
	623	»	6	0.804	73	193	223
	644	»	7	0.794	71	198	234
	650	»	8	0.755	71	201	239
	726	»	9	0.777	56	217	237
	829	»	10	0.838	35	248	226
	838	»	11	0.841	34	249	225
	870	»	12	0.873	30	258	219

Средние были взяты для номеров: (1, 2), (3, 4), (5, 6), (7, 8), (10, 11). Будем иметь:

	α	β	Располо-жение	δα	Δ		Порядок
(1, 2)	4°	52°	Внутр.	+	4.23	4.89	I
(3, 4)	33	50	»	+	1.53	6.78	I
(5, 6)	50	47	Внешн.	+	0.26	6.22	II
(7, 8)	57	45	»	+	1.03	5.79	II
9	57	46	»	+	0.82	4.71	II
(10, 11)	46	47	»	+	0.05	3.12	II
12	39	48	»	+	0.41	2.69	II

Плоскости орбит 1—4 не пересекаются на эклиптике; угловые расстояния их пересечения от соответственных узлов таковы: на орбите 1—75°, а на орбите 4—76°. Имея в виду, что i очень велико и изменение ☊ равно 23°, приходится считать номера 1 и 2 за один индивидуальный поток и то же самое — номера 3 и 4. Номера 5—8 дают поток II порядка; продолжительность его — 14 дней. Первая орбита, хотя и является внешней, как парабола, находится на пределе внешних и внутренних орбит и, следовательно, могла проходить через сферу действия Юпитера, но это было частное прохождение некоторого пучка; вообще эти орбиты не удовлетворяют условию (II).

Орбита 9 также может принадлежать к этому потоку, с увеличением продолжительности на 16 дней. Наконец, орбиты 10, 11 и 12 находятся на известном нам пределе, и они могли проходить около Юпитера, по крайне мере некоторые. Нужно отметить прежде всего, что эти орбиты, обратившись однажды в эллипсисы, становятся совсем внешними; обстоятельство это уменьшает возможность встречи с Юпитером. Однако возмущения со стороны последнего должны были быть очень значительны.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
IV	253	Нисход.	1	1.002	141°	125°	168°
	279	»	2	1.002	141	127	166
	467	»	3	0.718	136	153	245
	532	»	4	0.296	110	173	294
	567	»	5	0.237	100	179	302
	632	»	6	0.240	53	196	301
	670	»	7	0.312	41	203	292
	754	»	8	0.668	17	228	250
	851	»	9	0.861	12	253	222

Средние были взяты для орбит (1,2), (4,5), (6,7).

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$	Δ		Порядок
(1, 2)	347°	52°	Внутр.	—	3.11	2.10	I
3	65	44	Внешн.	+	1.30	3.65	I
(4, 5)	118	26	»	+	6.32	3.09	II
(6, 7)	117	27	»	+	4.15	2.29	II
8	70	42	»	+	0.72	1.42	I
9	42	48	Внутр.	+	0.21	1.09	I

Два первых потока — I порядка; различие в несколько градусов в ☊ объяснимо расхождением истечений. Орбита 3 удалена от остальных и отличается от них элементами; она не проходит около орбиты Юпитера. Орбиты 4 и 5 составляют отдельный поток II порядка; возмущения от Юпитера слабы. Орбиты 6 и 7 не связаны с предыдущими, хотя бы потому, что имеют прямое движение; они не проходят по соседству с Юпитером; возмущения слабы. Орбиты 8 и 9 соответствуют двум потокам: первый не проходит около Юпитера, так как он имеет внешнюю орбиту; второй, удаленный от первого на 25 дней, может выходить из сферы Юпитера; он не имеет ничего общего с первым. Для пересечения плоскостей мы находим угловые расстояния между пересечением и соответственным узлом: на первой орбите $64^\circ.0$ и на второй — $39^\circ.7$; угол этого пересечения с эклиптикой составляет $10^\circ.6$. Вторая орбита проходит около Юпитера,

а первая — не проходит; но ввиду значения i, возмущения могут быть очень значительными.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
V	267	Нисход.	1	1.014	169°	126°	184°
	289	»	2	1.007	171	128	189
	323	»	3	0.970	173	133	204
	377	»	4	0.817	171	140	232
	586	»	5	0.016	103	179	245
	568	»	6	0.012	95	182	247
	604	»	7	0.064	21	190	331
	628	»	8	0.147	13	195	315
	702	»	9	0.340	7	206	288
	748	»	10	0.684	2	226	248

Средние были взяты для орбит (1, 2), (3, 4):

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
(1—2)	7°	52°	Внутр.	+	0.64	0.78	II
(3—4)	38	49	»	+	0.14	0.73	II
5	165	7	Внешн.	+	1.90	0.69	I
6	167	5	»	+	1.62	0.72	I
7	151	13	»	+	1.26	0.51	II
8	135	19	»	+	1.06	0.51	II
9	108	30	»	+	0.62	0.43	II
10	68	42	»	+	0.08	0.17	I

В потоках 1, 2, 3 и 4 отдельные орбиты, например 3 и 4, благодаря малому наклонению, могут проходить через сферу Юпитера и все орбиты могут испытывать значительные возмущения. Для пересечения плоскостей орбит 1 и 4 имеем следующие угловые расстояния между этим пересечением и узлами: по орбите 1—33°, а по орбите 4—43°; угловое расстояние между пересечением и эклиптикой 5°.5; эти орбиты принадлежат потоку II порядка, продолжительностью 40 дней; они не были произведены, но сильно изменены Юпитером.

Орбиты 5 и 6 дают отдельный поток и являются внешними; наклонение большое; они не были произведены Юпитером.

Орбиты 7, 8 и 9 — внешние орбиты, но ввиду малости i они могут испытывать большие возмущения, хотя и не были произведены действием Юпитера; продолжительность 16 дней.

Наконец, орбита 10 указывает на отдельный поток, который, несмотря на свою внешнюю орбиту, имеет возможность проходить через сферу деятельности Юпитера. Он отделяется 20 днями от предшествующего ему потока.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
VI	45	Нисход.	1	0.964	8°	342°	161°
	231	»	2	0.776	125	118	111
	246	»	3	0.700	132	123	112
	325	»	4	0.879	137	133	137
	343	»	5	0.944	134	136	150
	394	»	6	0.995	137	143	166
	413	»	7	1.007	136	148	187
	445	»	8	1.005	132	151	190
	480	»	9	0.933	138	157	212
	583	»	10	0.750	130	173	241
	545	»	11	0.635	126	174	255
	598	»	12	0.420	117	185	279
	621	»	13	0.322	100	193	291
	709	»	14	0.307	63	207	293
	710	»	15	0.261	65	207	298
	767	»	16	0.501	26	231	269
	820	»	17	0.682	17	246	247
	907	»	18	0.916	10	277	211

Номера (2, 3), (4, 5), (7, 8), (10, 11), (12, 13), (14, 15), как почти идентичные, в каждой паре были объединены вместе. Различия в ☊ могут в них происходить непосредственно от конуса истечений.

	α	β	Располо-жение	δα	Δ		Порядок
1	341°	51°	Внутр.	—	0.68	0.38	I
(2, 3)	292	44	Внешн.	—	4.07	1.67	I
(4, 5)	324	49	Внутр.	—	3.88	0.82	II
6	246	52	»	—	3.44	2.24	II
(7, 8)	9	52	»	+	2.64	3.48	II
9	32	50	»	+	1.08	3.68	II
(10, 11)	68	43	Внешн.	+	1.76	4.18	II
(12, 13)	105	31	»	+	5.64	3.65	II
(14, 15)	116	27	»	+	5.51	2.93	II
16	89	36	»	+	1.85	1.90	II
17	67	42	»	+	6.44	1.45	II
18	31	50	Внутр.	+	0.29	0.90	I

Номер 1 дает отдельный поток, не имеющий ничего общего с другими. Номера (2, 3) имеют внешние орбиты, далекие от сферы действия Юпитера. Номера (4, 5), 6, (7, 8) и 9 — поток II, продолжительностью 24 дня; наклонение меняется очень мало; несколько линий, проведенных карандашом, показывают, что плоскости орбит пересекаются далеко от эклиптики; умеренные возмущения от Юпитера, который не произвел этот поток. Номера (10, 11), (12, 13) — внешние орбиты; продолжительность 20 дней; возмущения (от Юпитера) значат мало; Юпитер не произвел этих метеоров. Номера (14, 15), 16 и 17 — поток, существенно отличающийся от предыдущих по движению; длительность 40 дней; совсем не проходит через сферу деятельности Юпитера, но имеются сильные возмущения в i и в Ω. Наконец, номер 18 указывает на поток или пучок, отдельный от всех предыдущих, который может встречаться с Юпитером; орбита внутренняя.

	№	Встреча	n	q	i	Ω	ω
VII	423	Нисход.	1	0.973	96°	149°	157°
	552	»	2	0.973	98	175	200
	624	»	3	0.832	87	194	228
	716	»	4	0.731	75	208	242
	793	»	5	0.721	49	236	243

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
1	337°	51°	Внутр.	—	6.18	2.50	I
2	20	51	»	+	2.75	5.93	I
3	48	47	Внешн.	+	0.09	6.97	I
4	62	44	»	+	1.57	5.83	II
5	63	44	»	+	1.29	4.08	II

В орбитах 1 и 2 различие i (которое само очень велико) составляет 2°, в то же время изменение ☊ равно 26°. Пересечение плоскостей этих орбит находится очень далеко от эклиптики; действительно, угловые расстояния пересечения, считаемые от соответственных узлов, таковы: в плоскости первой орбиты — 84°, в плоскости второй — 87°. Условие (I) не удовлетворено: орбиты не произведены действием Юпитера. Итак, это — два независимых потока, обязанных истечениям.

Орбита 3 близка к пределу для параболы, но какая бы то ни было эллиптическая орбита не может проходить около Юпитера, тем более около других больших планет: это простой поток I.

Наконец, две последние орбиты, чисто внешние, не могут встречать ни Юпитера, ни других больших планет, хотя и подвержены значительным возмущениям в i и в ☊; длительность этого потока составляет 28 дней. Потоки метеоров порождены кометой путем извержения вещества; Юпитер со своей стороны причинил заметные изменения этих орбит.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
VIII	447	Нисход.	1	0.977	156°	151°	159°
	468	»	2	0.998	153	153	168
	483	»	3	0.991	153	162	195
	495	»	4	0.944	156	164	209
	500	»	5	0.942	154	165	210
	503	»	6	0.931	150	166	212
	505	»	7	0.951	154	165	208
	511	»	8	0.933	153	166	212
	548	»	9	0.762	152	174	239
	553	»	10	0.776	150	175	238
	831	»	11	0.577	14	248	260
	841	»	12	0.577	14	249	260

Средние были взяты для номеров (4, 5), (7, 8), (9, 10), (11, 12).

	α	β	Располо-жение	δα	Δ		Порядок
1	339°	51°	Внутр.	—	2.05	1.06	II
2	348	52	»	—	2.17	1.54	II
3	15	52	»	+	1.44	2.22	II
(4, 5)	30	50	»	+	0.75	2.21	II
6	32	50	»	+	0.81	2.67	II
(7, 8)	30	50	»	+	0.81	2.39	II
(9, 10)	59	45	Внешн.	+	0.61	2.52	II
(11, 12)	80	39	»	+	0.83	1.10	I

Орбиты 1—10 указывают на один поток, продолжительностью 25 дней; изменение i составляет 6°, изменение ☊ — 24°; q изменяется от 0.978 до 0.762. Для пересечения плоскостей орбит 1 и 8 имеем угловые расстояния: для 1—72°, для 8—58°; условие (I) не выполнено; это — поток, произведенный кометными истечениями, с орбитами, видоизмененными Юпитером.

Поток с орбитами 11 и 12 обладает другим направлением движения; 75 дней отделяют его от предшествующего потока; это — отдельный простой поток I.

В пересечении плоскостей орбит 1 и 10 получаем угловые расстояния: для 1—75°, для 10—54°. Юпитер не имеет отношения к происхождению этих орбит.

Число метеоров в наиболее густой части: 1877—16, 1885—15, 1879—10. Период составляет 7 или 8 лет. Для $T = 8$ лет, $a = 4.0$. Конечно, перед нами очень грубый результат, принимая во внимание число метеоров.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
IX	380	Нисход.	1	0.847	131°	140°	132°
	403	»	2	0.895	133	144	140
	432	»	3	0.964	130	150	155
	459	»	4	0.984	131	151	161
	496	»	5	0.993	133	164	194
	504	»	6	0.977	135	166	200
	535	»	7	0.877	132	173	222
	569	»	8	0.782	130	179	236
	576	»	9	0.736	126	180	242
	636	»	10	0.418	114	196	279
	741	»	11	0.156	56	223	291
	777	»	12	0.391	40	232	282
	821	»	13	0.624	23	246	255
	840	»	14	0.814	24	249	256

Можно соединить вместе номера: (1, 2), (3, 4), (5, 6), (7, 8, 9), (13, 14), очень близкие по их элементам:

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
(1, 2)	316°	48°	Внутр.	—	4.22	0.27	II
(3, 4)	338	51	»	—	4.08	1.94	II
(5, 6)	17	51	»	+	2.14	3.72	II
(7—9)	53	45	Внешн.	+	0.56	4.43	II
10	99	33	»	+	4.93	3.79	II
11	111	20	»	+	4.88	3.45	I
12	102	32	»	+	3.31	2.48	I
(13, 14)	76	44	»	+	1.13	1.86	I

Орбиты 1—6 представляют один поток II, длительностью 27 дней. Отметим, что для эллипсиса орбита 1 — внешняя и не проходит близко к Юпитеру; изменение i составляет 4°, изменение ☊ — 26°. Возмущения от Юпитера были сильны, но он не имеет ничего общего с происхождением орбит, ибо условие (I) не выполнено. Действительно, пересечение плоскостей орбит (1, 2) и 6 дает для угловых расстояний между этим пересечением и соответствующими узлами: в плоскости (1, 2) — 95° и в плоскости 6 — 72°, что очень далеко от эклиптики. Система орбит не произведена Юпитером, но он вызвал большие возмущения в различных орбитах системы.

Орбиты 7—10 указывают на поток II, длительностью 23 дня. Орбиты 11, 12 и (13, 14) имеют уже другое направление движения и представляют три независимых потока. Все эти орбиты внешние; это показывает, что они не являются результатом действия Юпитера. Между номером 11 и предшествующим потоком имеется промежуток в 27 дней, между 11 и 12 — 9 дней; между 12 и (13, 14) — 14 дней [133].

Числа метеоров для наиболее густой части первого потока (каталоги A и B): 1872—22, 1877—11 и 1879—11. Отсюда $T = 6$ лет и $a = 3.3$ как грубый результат.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
X	554	Нисход.	1	0.718	179°	175°	245°
	577	»	2	0.542	176	180	265
	696	»	3	0.016	171	205	345
	724	Восход.	4	0.027	19	33	161
	746	»	5	0.130	4	45	138
	749	»	6	0.267	3	46	118
	753	»	7	0.277	5	47	116
	759	Нисход.	8	0.248	1	230	300
	768	»	9	0.334	1	231	289
	778	»	10	0.229	5	232	302
	798	»	11	0.397	9	239	281
	822	Восход.	12	0.521	0	66	87
	832	Нисход.	13	0.526	2	248	266

Можно взять средние для номеров (5, 6, 7), (8, 9), (10, 11) и (12, 13):

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$	Δ		Порядок
1	65°	44°	Внешн.	+	0.03	0.09	II
2	85	38	»	+	0.27	0.31	II
3	65	6	»	+	0.70	0.77	II
4	341	8	»	+	0.77	0.32	II
(5—7)	304	24	»	+	0.36	0.19	II
(8, 9)	115	27	»	+	0.09	0.06	II
(10, 11)	112	28	»	+	0.63	0.41	II
(12, 13)	87	37	»	+	0.07	0.08	II

Все эти орбиты внешние, следовательно, не способны приближаться к планетным орбитам, но малость наклонения делает их доступными для больших планет[134]. Так как условие (I) не выполнено, величина a остается неопределенной, и критерий Клаузена, как и критерий Тиссерана, становится неприменимым. Может быть, мы здесь имеем общий ход вещей: преобразование одной части кометной массы в рои метеоров благодаря истечениям и, кроме того, возмущения орбит Юпитером.

Орбиты 1 и 2 относятся к отдельному потоку I, к которому, возможно, также принадлежит орбита 3. Продолжительность

тогда будет 30 дней. Все другие орбиты, имеющие другое направление движения, могут представлять другой поток II, продолжительностью в 35 дней.

Каталог B дает числа метеоров для второго потока II:

	m		*m*		*m*		*m*
1872	12	1879	25	1886	6	1896	19
1876	14	1880	8	1887	4	1897	13
1877	9	1882	13	1892	13		

Максимумы соответствуют годам 1879 и 1896, откуда $T = 17$ лет и как грубый результат $a = 6.6$.

	№	Встреча	*n*	*q*	*i*	☊	ω
XI	424	Нисход.	1	0.800	146°	149°	125°
	520	»	2	0.995	147	170	191
	549	»	3	0.953	148	174	206
	571	»	4	0.938	143	179	210
	578	»	5	0.881	140	180	221
	606	»	6	0.638	143	190	254
	785	»	7	0.163	44	234	313

Средние арифметические были взяты для номеров (2, 3), (4, 5). Получаем:

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
1	305°	46°	Внешн.	—	2.98	0.46	I
(2, 3)	19	51	Внутр.	+	1.48	2.68	II
(4, 5)	36	49	»	+	0.72	3.37	II
6	74	41	Внешн.	+	1.73	2.96	II
7	133	20	»	+	3.53	1.66	I

У орбиты 1 эллиптической расстояние будет больше; эта орбита принадлежит к специальному потоку, который отделяется 21 днем от тех потоков, которые следуют за ним. В орбите 7 имеем также самостоятельный поток; его отделяют 44 дня от

потока, ему предшествующего; его движение другое, и орбита по существу внешняя.

Наконец, орбиты 2—6 дают поток II, усложненный возмущениями Юпитера; длительность 20 дней; изменения i до 8°, а для ☊ до 20°. Простое графическое построение доказывает, что плоскости этих орбит пересекаются далеко от эклиптики; итак, Юпитер не произвел их.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XII	469	Восход.	1	0.897	167°	333°	323°
	506	»	2	1.000	166	346	9
	516	»	3	0.982	166	347	18
	536	»	4	0.946	165	353	28
	563	»	5	0.897	167	357	38
	599	»	6	0.703	165	5	66
	637	»	7	0.373	159	16	105
	717	»	8	0.117	148	28	140

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$	Δ		Порядок
1	143°	49°	Внутр.	—	1.18	0.24	II
2	189	52	»	+	0.86	1.11	II
3	198	52	»	+	0.70	1.19	II
4	208	51	»	+	0.53	1.33	II
5	218	49	»	+	0.22	1.18	II
6	246	43	Внешн.	+	0.53	1.28	II
7	285	31	»	+	1.82	1.31	II
8	320	17	»	+	2.38	1.08	II

Орбиты 1—5 принадлежат, без всякого сомнения, одному потоку II длительностью 24 дня. Орбиты 5, 7 и 8 — внешние и, следовательно, проходят далеко от Юпитера. Пять других орбит с почти неизмененным наклонением распределены вдоль дуги в 24° по эклиптике; значит, они не пересекаются на эклиптике. Если некоторые из них, как орбиты 1 и 5, могут проходить, или проходили, около Юпитера, то это будут частные прохождения, связанные с тем или иным пучком конуса истечений, но не общие всему конусу,— косвенное доказательство того, что этот конус не есть результат действия Юпитера.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XIII	241	Нисход.	1	0.098	141°	121°	36°
	473	»	2	0.891	162	155	140
	527	»	3	0.991	162	172	193
	638	»	4	0.533	162	196	266
	658	»	5	0.324	153	202	291
	750	»	6	0.404	67	226	337
	761	»	7	0.075	44	230	328
	794	»	8	0.137	29	236	316
	898	»	9	0.710	6	273	244

Можно взять средние для орбит (4, 5):

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$	Δ		Порядок
1	216°	16°	Внешн.	—	1.13	2.67	I
2	320	49	Внутр.	—	1.63	0.25	II
3	13	52	»	+	1.02	1.47	II
(4,5)	99	33	Внешн.	+	1.81	1.46	II
6	157	32	»	+	4.31	0.75	II
7	148	14	»	+	2.69	1.12	II
8	136	18	»	+	2.31	1.07	II
9	64	43	»	+	0.20	0.52	II

Первая орбита — отдельная, внешняя, удаленная от остальных на 34 дня; она принадлежит потоку I. Две другие — 2, 3 — имеют одно и то же наклонение и отдалены друг от друга на 17° по эклиптике, то есть их плоскости пересекаются далеко от орбиты Юпитера. Если вторая орбита, у которой Δ достаточно мало, приходит к Земле из сферы деятельности Юпитера, то это — частное прохождение какого-то пучка конуса извержения. Орбита (4, 5) — внешняя, но может принадлежать тому же потоку, что и две предшествующие; тогда длительность будет 48 дней. Четыре другие орбиты — все внешние и чужды разлагающему действию Юпитера; они отличаются от предыдущих направлением своего движения и могут образовать индивидуальный поток, длительность которого составит тоже 48 дней. Возмущения очень сильны: изменение i—61°, для ☊ — 47°. Последняя орбита, будучи внешней, не происходит от действия Юпитера, но малое i дает ей возможность встречать его;

она, вероятно, проходила довольно близко от Юпитера. В потоках XIII Юпитер не был производящим телом, но вызвал довольно сильные возмущения.

Число метеоров для первого потока II:

	m		m		m
1869	8	1879	17	1885	6
1877	16	1881	5	1895	17

Отсюда $T = 17$ и $a = 6.6$, со слабой вероятностью.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XIV	537	Нисход.	1	1.002	122°	173°	186°
	570	»	2	0.968	124	179	201
	674	»	3	0.675	111	202	249
	795	»	4	0.402	59	236	281

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$	Δ		Порядок
1	6°	52°	Внутр.	+	3.35	4.06	I
2	21	52	»	+	2.28	4.60	I
3	69	43	Внешн.	+	2.18	5.20	I
4	101	32	»	+	4.65	3.46	I

Две первые орбиты представляют отдельный поток I; различие в их узлах в 6° может происходить от расхождения пучков истечения; плоскости этих орбит пересекаются далеко от эклиптики: они не были произведены действием Юпитера.

Две другие орбиты, будучи внешними, точно так же не произведены Юпитером, и так как они имеют противоположное направление движения, то они принадлежат двум простым потокам; легкие возмущения больших планет.

Числа метеоров для двух первых потоков:

	m		m
1868	8	1885	7
1877	18	1888	14
1879	7	1896	5

Отсюда $T = 11$ лет и $a = 4.9$ как грубый результат.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XV	589	Нисход.	1	0.991	146°	183°	168°
	608	»	2	0.986	146	190	193
	734	»	3	0.375	131	221	284
	787	»	4	0.171	108	235	311

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
1	348°	52°	Внутр.	—	2.71	1.91	II
2	13	52	»	+	1.86	2.74	II
3	104	31	Внешн.	+	4.08	2.90	I
4	131	21	»	+	5.47	2.39	I

Две первые орбиты пересекаются далеко от эклиптики; тогда как наклонение остается тем же самым, разница узлов равна 7°. Это — индивидуальный поток с некоторыми возмущениями со стороны Юпитера.

Две другие орбиты — внешние и произведены без участия Юпитера. Элементы различаются достаточно; наклонение большое; возмущения обычные. Эти орбиты нужно приписать двум отдельным потокам.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XVI	539	Восход.	1	0.776	157°	353°	303°
	590	»	2	0.918	159	3	327
	641	»	3	0.989	162	16	11
	714	»	4	0.885	161	27	39
	762	»	5	0.331	150	51	109
	860	»	6	0.520	52	76	87

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
1	123°	46°	Внешн.	—	2.02	0.39	II
2	147	50	Внутр.	—	1.88	0.55	II
3	191	52	»	+	1.06	1.45	II
4	219	49	»	+	0.29	1.72	II
5	289	29	Внешн.	+	2.66	1.77	I
6	267	37	»	+	3.31	3.62	I

Четыре первые орбиты представляют один поток, произведенный истечениями и видоизмененный в частичных пучках действием Юпитера. В самом деле, в пересечении плоскостей орбит 1 и 4 находим угловые расстояния этого пересечения, отсчитанные от соответственных узлов: 56° для первой орбиты и 88° для четвертой; следовательно, это пересечение очень далеко от эклиптики и указывает скорее, как и в других радиантах, на положение перигелиев. Главное условие не удовлетворяется. Если есть возможность встречи для орбиты 4, то это

обстоятельство свойственно какому-то отдельному пучку и не зависит от происхождения всей совокупности орбит. Поток длится 36 дней. Орбиты 5 и 6 указывают на два простых потока с отдельными узлами; их орбиты внешние; они не были произведены действием Юпитера и имеют различные направления движения.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XVII	686	Нисход.	1	0.991	163°	203°	172°
	861	»	2	0.055	83	256	333
	877	»	3	0.051	75	259	322
	907	»	4	0.268	17	277	297

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$	Δ		Порядок
1	352°	52°	Внутр.	—	1.33	1.06	I
2	153	11	Внешн.	+	3.36	1.44	II
3	142	11	»	+	4.13	2.34	II
4	117	26	»	+	1.54	0.92	II

Поток 1 совершенно различен от трех остальных по направлению движения, по всем своим элементам и по своей обособленности. Орбиты 2, 3 и 4 представляют собой поток, произведенный истечениями, так как его орбиты, будучи внешними, не могут приближаться к Юпитеру. Поток только видоизменен действием Юпитера в своих частичных пучках.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XVIII	593	Восход.	1	0.561	166°	3°	277°
	3	»	2	0.925	9	103	152

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$	Δ		Порядок
1	97°	38°	Внешн.	—	1.08	0.90	I
	332	50	Внутр.	+	0.80	0.31	I

Мы имеем здесь два пучка от двух совершенно различных потоков, выловленных в областях пространства, весьма удаленных друг от друга. Положение орбит, направление движения —

все различается. Невозможно настаивать на каком-либо семейном родстве у этих двух объектов, имеющих в пространстве неодинаковые направления, которые, будучи видоизменены аберрацией, происходящей от движения Земли, кажутся проходящими друг около друга.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XIX	680	Нисход.	1	0.776	174°	203°	124°
	894	»	2	0.000	—	271	359
	899	»	3	0.003	13	273	354

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$	Δ		Порядок
1	304°	46°	Внешн.	—	0.53	0.09	I
2	179	1	»	+	0.04	0.00	I
3	174	1	»	+	0.14	0.10	I

Здесь два различных потока: плоскости орбит обладают слабыми наклонениями к эклиптике; имея разные направления орбитального движения, они должны пересекаться около эклиптики между узлами. Действительно, угловое расстояние пересечения от узла для первой орбиты равно 50°, для второй орбиты 21°; линия пересечения образует с эклиптикой угол в 5°; расстояние Δ для этой линии есть 0.4; она проходит очень близко от сферы действия Юпитера, но не пересекает ее. Оба потока I порядка. Расстояние q столь мало для второго потока, что истечения должны были быть необычайно сильны[135]. Условие (I) почти выполнено.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XX	756	Нисход.	1	0.863	156°	229°	222°
	803	»	2	0.557	153	241	263
	849	»	3	0.313	144	250	291
	31	»	4	0.551	13	306	263

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$	Δ		Порядок
1	42°	48°	Внутр.	+	0.22	2.16	II
2	83	38	Внешн.	+	1.69	2.06	II
3	111	28	»	+	3.18	2.05	II
4	83	38	»	+	0.83	1.01	I

Три первые орбиты соответствуют одному потоку II, продолжительностью 21 день; его частные пучки различным образом видоизменены действием Юпитера, ибо они могли проходить около этой планеты, как пучок 1; два других пучка имеют внешние орбиты и проходят довольно далеко от орбиты Юпитера; следовательно, они не могли произойти вследствие его разлагающего действия. Орбита 4 соответствует пучку, совершенно отличному от остальных пучков по своему прямому движению и большому расстоянию от них; она не была порождена Юпитером. Отметим еще, что расстояния Δ становятся больше для эллиптической орбиты.

	№	Встреча	*n*	*q*	*i*	☊	ω
XXI	891	Восход.	1	0.141	145°	87°	136°
	(891)	»	2	0.973	12	51	342

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
1	316°	19°	Внешн.	+	2.75	1.27	I
2	162	51	Внутр.	—	1.01	0.59	I

Два простых потока и, очевидно, совершенно различных. Орбиты не пересекаются в точке, близкой к эклиптике. Обычные возмущения, вызываемые Юпитером, значительны.

	№	Встреча	*n*	*q*	*i*	☊	ω
XXII	772	Нисход.	1	0.832	88°	231°	227°
	642	»	2	0.991	100	196	170
	664	»	3	0.998	100	201	178

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
1	47°	47°	Внешн.	+	0.00	7.05	I
2	350	52	Внутр.	—	5.24	3.66	II
3	358	52	»	—	4.62	4.32	II

Имеем два потока, различных друг от друга и разделенных промежутком в 30 дней. Плоскости орбит пересекаются далеко

от эклиптики. В случае эллиптической орбиты для номера 1, при $a = 4.0$, Δ становится 1.80 вместо 0. Это значит, что орбита не проходит около орбиты Юпитера. Для второго потока продолжительность в 5 дней объясняется расхождением истечений, а возмущения посредственные.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XXIII	691	Нисход.	1	0.718	157°	204°	116°
	804	»	2	0.774	159	241	235
	862	»	3	0.415	153	256	279

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$	Δ		Порядок
1	296°	44°	Внешн.	—	1.97	0.70	II
2	55	45	»	+	0.32	1.87	II
3	99	33	»	+	2.21	1.78	I

Орбиты внешние, особенно когда мы их обращаем в эллипсисы; они не проходят около орбиты Юпитера, но испытывают его возмущающее действие. За отсутствием критериев, можно приписать обе первые орбиты одному потоку с продолжительностью в 37 дней.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XXIV	692	Нисход.	1	0.902	123°	204°	144°
	780	»	2	0.883	121	233	218
	855	»	3	0.564	108	253	262
	114	»	4	1.007	10	33	181

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$	Δ		Порядок
1	324°	49°	Внутр.	—	4.94	0.98	II
2	38	49	»	+	0.86	5.11	II
3	82	38	Внешн.	+	3.67	4.84	I
4	1	52	Внутр.	+	0.70	0.72	I

За отсутствием критериев две первые орбиты должны быть отнесены по их сходству к одному потоку, продолжительностью 27 дней. Эти орбиты пересекаются далеко от эклиптики.

Третья орбита является внешней даже для параболы, и она не может проходить около Юпитера Наконец, четвертая орбита совершенно отлична от остальных, прежде всего по направлению движения. Этот последний поток встречает Землю в области пространства, удаленной на 20 млн. географич. миль от предыдущего потока, и никоим образом не может быть ему уподоблен. Последняя орбита могла бы, в эллиптической форме, проходить ближе к эклиптике ($\Delta = 0.37$).

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XXV	814	Нисход.	1	0.957	162°	245°	200°
	866	Восход.	2	0.617	167	77	75
	900	»	3	0.201	159	93	126
	13	»	4	0.038	94	111	157

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$	Δ		Порядок
1	20°	51°	Внутр.	+	0.83	1.54	II
2	255	40	Внешн.	+	0.67	1.07	II
3	306	23	»	+	1.85	0.96	II
4	337	10	»	+	2.96	1.17	I

Три первых потока могут рассматриваться как частные пучки одного потока, испытавшего возмущения от Юпитера, но не порожденного его действием, ибо внешние орбиты 2 и 3, различные между собой, не пересекаются около эклиптики ни между собой, ни с орбитой 1. Продолжительность этого сложного потока 45 дней. Может быть также, эти три орбиты представляют три индивидуальных потока. Орбита 4 указывает на индивидуальный поток: она является внешней, и i таково, что большое изменение в ☊ невозможно.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XXVI	542	Нисход.	1	0.324	69°	173°	69°
	665	»	2	0.593	127	201	101
	693	»	3	0.706	123	204	115
	789	»	4	0.973	133	235	195
	879	»	5	0.569	123	259	261

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
1	249°	29°	Внешн.	—	3.29	5.79	I
2	281	39	»	—	3.96	2.77	I
3	295	43	»	—	4.63	1.66	II
4	15	51	Внутр	+	2.29	3.72	I
5	81	39	Внешн.	+	3.06	4.11	I

Орбита 1 — простой индивидуальный поток; его внешняя орбита не могла быть ни порождена Юпитером, ни получить от него другое направление движения, чем две следующие орбиты, также внешние; эти орбиты 2 и 3 тоже относятся к простому потоку, так как их различие в ☊ объясняется расхождением истечений. Орбиты 4 и 5, различные по их положению, не могут быть обе вместе произведены Юпитером; они соответствуют двум простым потокам. Так как критерии неприменимы, оба потока позволительно объединить в один единственный поток, продолжительность которого будет 25 дней.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XXVII	850	Нисход.	1	0.839	97°	251°	225°
	873	»	2	0.759	91	258	237
	60	»	3	0.962	18	4	202
	122	»	4	1.007	16	37	183

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
1	45°	47°	Внешн.	+	0.18	6.87	II
2	57	45	»	+	1.09	6.55	II
3	22	51	Внутр.	+	0.78	1.56	II
4	3	52	»	+	1.09	1.18	II

Эти орбиты представляют по всем элементам, а особенно по различию движения — прямого и обратного, два различных потока: первый — орбиты 1 и 2, внешние для эллипсиса и не произведенные Юпитером; продолжительность в 7 дней для этого потока легко объяснить расхождением истечений. Второй поток, наклонение которого мало, может быть принят за индивидуальный поток; у него несколько пучков частных орбит

могли испытать сильные возмущения в ☊; его орбиты не встречаются в точке, близкой к орбите Юпитера:

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XXVIII	4	Восход.	1	0.494	177°	103°	268°
	40	»	2	0.008	89	149	169
	824	»	3	0.847	179	66	316

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
1	89°	36°	Внешн.	—	0.22	0.22	II
2	349	3	»	+	1.27	0.73	I
3	136	48	»	—	0.09	0.01	II

Орбиты 1 и 3 имеют такое наклонение, что, несмотря на их внешние положения, они способны проходить через сферу действия Юпитера, и ничто не препятствует отнести их к одному потоку с частными пучками, сильно измененными в их узлах; продолжительность 37 дней. Определить a невозможно и нельзя испробовать критерии. Орбита 2 принадлежит простому потоку: ее элементы i и q совершенно различны от элементов других орбит. Будучи внешней и имея такое наклонение, эта орбита не может проходить около орбиты Юпитера.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XXIX	882	Нисход.	1	0.863	167°	261°	221°
	46	»	2	0.345	9	344	288
	48	»	3	0.566	7	355	262

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
1	41°	48°	Внутр.	+	0.14	1.18	I
2	108	30	Внешн.	+	0.80	0.54	II
3	82	38	»	+	0.43	0.54	II

Орбита 1, имеющая обратное движение, соответствует пучку, который может проходить через сферу деятельности Юпитера; он не имеет никакой родственной связи с орбитами 2 и 3, у которых орбиты внешние и, несмотря на малое наклонение, не

могут проходить, особенно в эллиптической форме, достаточно близко к орбите Юпитера. Однако их возмущения сильны: разные пучки истечений испытали различные изменения q, i и ☊. Продолжительность 10 дней.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XXX	776	Нисход.	1	0.962	88°	231°	162°
	845	»	2	0.982	90	249	188
	118	»	3	0.993	21	35	193

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$	Δ	Порядок
1	342°	51°	Внутр.	— 5.82	2.95	I
2	8	52	»	+ 3.90	5.20	I
3	13	52	»	+ 1.18	1.71	I

Здесь три различных потока. У двух первых плоскости пересекаются очень далеко от эклиптики; изменение на 18° в ☊ для наклонения в 90°— невозможно. Третья орбита не имеет ничего общего с остальными: Земля ловит ее на своей орбите на 5 месяцев позже, чем другие, и в области неба, почти диаметрально противоположной. Нельзя увидеть даже малейшую связь между этим потоком и двумя первыми.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XXXI	887	Нисход.	1	0.418	106°	262°	81°
	16	»	2	0.906	132	292	147

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$	Δ	Порядок
1	261°	33°	Внешн.	— 4.03	5.31	I
2	327	49	Внутр.	— 4.18	1.07	I

Мы имеем здесь два простых потока, чуждых друг другу: орбита 1 внешняя и не может проходить около орбит больших планет; пересечение плоскостей далеко от эклиптики; орбиты не были произведены Юпитером или другими планетами.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XXXII	29	Нисход.	1	0.863	154°	302°	139°
	71	»	2	0.308	28	29	293
	79	»	3	0.267	29	30	298

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
1	319°	48°	Внутр.	—	2.34	2.79	I
2	113	28	Внешн.	+	2.51	1.55	I
3	118	26	»	+	2.61	1.50	I

Орбиты 2 и 3 относятся к простому потоку, ибо малая разность ☊ объясняется расхождением истечений; эти орбиты не могут проходить около орбиты Юпитера, и, следовательно, их плоскости не пересекаются около эклиптики с плоскостью орбиты 1. Эта последняя имеет другое направление движения. Общее происхождение с помощью Юпитера — невозможно.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XXXIII	38	Нисход.	1	0.964	129°	328°	199°
	132	»	2	0.552	29	45	262

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
1	19°	51°	Внешн.	+	2.19	4.14	I
2	82	38	»	+	1.78	2.24	I

Здесь остается только повторить все сказанное выше по поводу табл. XXXII.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XXXIV	26	Нисход.	1	0.982	59°	300°	176°
	82	»	2	0.989	48	30	195
	141	»	3	0.989	44	53	197
	485	»	4	1.005	33	162	175

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
1	356°	52°	Внутр.	—	4.01	3.52	I
2	15	52	»	+	2.39	3.83	I
3	17	52	»	+	2.12	3.60	I
4	355	52	»	+	2.44	2.12	I

Кажется, все эти орбиты принадлежат четырем простым индивидуальным потокам, особенно первая и последняя. Самое большее можно было бы объединить в один поток орбиты 2 и 3, что представило бы собой поток, частные пучки которого испытали возмущение со стороны Юпитера в ι и ☊. Орбиты 2 и 3 пересекаются очень далеко от эклиптики, именно: угол между пересечением и эклиптикой на орбите 2 составляет 86° и 80° на орбите 3. Это скорее указывает на некоторый участок после прохождений через перигелий, на котором истечения могли породить эллиптические орбиты.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XXXV	39	Нисход.	1	0.735	127°	328°	119°
	153	»	2	0.622	25	80	257

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$	Δ		Порядок
1	299°	44°	Внешн.	—	4.44	1.22	I
2	77	40	»	+	1.33	2.00	I

Два разных простых потока. Нечего говорить о прохождении около орбит больших планет, потому что наши орбиты являются внешними и с планетами не могут встречаться.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XXXVII	85	Нисход.	1	0.764	92°	30°	239°
	119	»	2	0.778	93	35	237
	213	»	3	0.871	25	112	224
	509	»	4	1.002	15	166	187
	596	»	5	1.005	15	184	180

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$	Δ		Порядок
1	59°	45°	Внешн.	+	1.27	6.40	II
2	57	46	»	+	1.00	6.46	II
3	44	48	Внутр.	+	0.15	2.25	I
4	7	52	»	+	0.96	1.16	II

Орбиты 4 и 5 являются двумя почти тождественными пучками; различие имеется только в узле. Две первые орбиты

дают один простой поток; различие в ☊ объясняется расхождением истечений. Вопрос о производящем действии Юпитера решается отрицательно уже самим положением орбит (внешних). Орбиты 4 и 5 указывают на поток II; некоторые частные пучки его испытали изменение на 18° в ☊ и незначительное изменение в i. Эти две орбиты не пересекаются около эклиптики, что можно видеть без вычисления. Орбита 3 соответствует простому потоку, очень удаленному от остальных; параболическое расстояние $\Delta = 0.15$ становится 0.68 для эллипсиса, у которого $a = 4.0$.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XXXVIII	54	Нисход.	1	0.802	63°	355°	128°
	326	»	2	0.857	5	133	226

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$		Δ	Порядок
1	308°	46°	Внешн.	—	5.36	0.48	I
2	46	48	Внутр.	+	0.02	0.45	I

Два различных простых потока, на громадном расстоянии друг от друга; первая орбита внешняя, и такое положение еще более резко выражено для эллипсиса; итак, нечего говорить относительно общего происхождения под действием Юпитера. Орбита 2, благодаря ее очень малому наклонению, может проходить близко к орбите Юпитера, но она не имеет никакого родства с орбитой 1.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XXXIX	109	Нисход.	1	1.000	144°	31°	188°
	294	»	2	0.485	163	129	273
	374	»	3	0.811	12	139	233

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$		Δ	Порядок
1	8°	52°	Внутр.	+	2.17	2.74	I
2	93	36	Внешн.	+	1.29	1.19	I
3	53	46	»	+	0.13	1.07	I

Три простых потока, не зависимых друг от друга. Орбита 2 является внешней; наклонение ее недостаточно мало; следовательно, орбита не пересекается с другими около эклиптики. Подобно этому орбита 1 не может проходить около Юпитера. Наконец, орбита 3 — внешняя, но ее малое наклонение позволяет ей проходить недалеко от планеты как частный пучок, без всякой родственной связи с другими орбитами. Отметим, что для эллиптической орбиты, у которой $a = 4$, Δ вместо 0.13 становится 0.50.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XL	92	Нисход.	1	0.989	105°	30°	165°
	110	»	2	0.989	106	31	165
	121	»	3	0.993	109	35	167
	151	»	4	0.811	103	69	233
	167	»	5	0.643	82	87	255
	179	»	6	0.589	65	103	261
	215	»	7	0.612	54	112	258
	396	»	8	0.805	28	142	234
	387	»	9	0.805	28	142	234

Средние были взяты для номеров (1, 2, 3) и (8, 9).

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$	Δ		Порядок
(1—3)	346°	52°	Внутр.	—	5.28	3.22	II
4	53	46	Внешн.	+	0.62	6.28	II
5	75	41	»	+	3.01	5.43	II
6	81	39	»	+	3.33	4.54	II
7	78	40	»	+	2.68	4.03	II
(8, 9)	54	46	»	+	0.34	2.48	I

Четыре первые орбиты могут соответствовать одному потоку, усложненному возмущениями Юпитера; длительность 40 дней; их плоскости пересекаются далеко от эклиптики; они не были произведены действием Юпитера. Три следующие орбиты, с довольно большим наклонением, могут также принадлежать одному потоку; орбиты внешние; следовательно, не может быть вопроса о их происхождении; продолжительность 25 дней.

Наконец, тождественные внешние орбиты (8, 9), удаленные на 30 дней от предыдущих орбит, дают простой поток. За отсутствием критериев, это последнее подразделение не совершенно окончательное.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XLI	358	Нисход.	1	0.984	33°	358°	168°
	381	»	2	0.959	48	140	154
	619	»	3	0.970	57	192	200
	701	»	4	0.955	54	204	204

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
1	348°	52°	Внутр.	—	2.63	1.85	I
2	334	51	»	—	4.09	1.66	I
3	20	51	»	+	2.31	4.59	II
4	24	51	»	+	1.94	4.51	II

Орбиты 1 и 2 принадлежат двум простым потокам, отличным друг от друга и разделенным от других потоков большими расстояниями. Орбиты 3 и 4 принадлежат, кажется, одному потоку, частные пучки которого испытали некоторое возмущение от Юпитера в i и ☊; продолжительность 12 дней. Четыре плоскости пересекаются далеко от эклиптики: Юпитер был только возмущающим телом.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XLII	142	Нисход.	1	1.009	128°	54°	186°
	181	»	2	0.407	84	104	281
	269	»	3	0.450	42	126	277
	390	»	4	0.662	26	142	252

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
1	6°	52°	Внутр.	+	3.09	3.72	I
2	101	33	Внешн.	+	5.75	4.04	I
3	97	34	»	+	3.27	2.72	II
4	72	42	»	+	1.15	2.13	II

Орбита 1, удаленная от остальных на 50 дней, не имеет ничего общего с ними; это — простой поток. Все другие

орбиты — внешние; орбита 2 проходит очень далеко от Юпитера, и ввиду ее большого наклонения трудно объяснить ее родство с орбитой 3 с помощью возмущений от Юпитера; итак, и она соответствует простому потоку. Наконец, орбиты 3 и 4 могут принадлежать потоку, произведенному истечениями и в некоторых частях измененному действием Юпитера.

Нужно отметить, что мы часто испытываем неуверенность при различении родства потоков, как, например, здесь для орбит 2, 3 и 4.

Критерии Клаузена и Тиссерана ни в какой мере не применимы, так как эти орбиты, будучи внешними, не проходят около орбиты Юпитера.

Чтобы до конца решить вопрос, нужно выбрать какую-то комету, вычислить ее возмущения и сравнить результаты с элементами данных орбит. Однако это—работа почти невыполнимая.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XLIII	55	Нисход.	1	0.824	48°	357°	131°
	182	»	2	0.927	87	104	214
	207	»	3	0.918	72	111	216
	216	»	4	0.904	71	112	219
	228	»	5	0.893	68	117	221
	346	»	6	0.887	59	136	221
	436	»	7	·0.851	49	149	227

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$		Δ	Порядок
1	311°	47°	Внешн.	—	4.18	0.14	I
2	34	50	Внутр.	+	1.45	6.93	II
3	36	50	»	+	1.21	6.08	II
4	39	49	»	+	0.86	6.03	II
5	41	49	»	+	0.67	5.82	II
6	41	49	»	+	0.62	5.12	II
7	47	48	Внешн.	+	0.07	4.30	II

Орбиты 1 и 7 вообще внешние, когда они преобразуются в эллипсисы; но так как они находятся по соседству с пределами для параболы, для них возможно прохождение недалеко

от сферы деятельности Юпитера. Первая орбита удалена от остальных на промежуток в 108 дней. Все другие, 2—7, принадлежат, кажется, одному потоку, произведенному истечениями и видоизмененному в его частных пучках Юпитером; эту гипотезу позволяет сделать правильное убывание i и q; длительность 45 дней. Плоскости орбит имеют пересечения далеко от эклиптики: поток не обязан действию Юпитера.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XLIV	230	Нисход.	1	1.002	81°	117°	194°
	333	»	2	0.923	76	134	215
	428	»	3	0.902	67	149	219
	472	»	4	0.875	66	152	223
	757	»	5	0.929	29	229	209
	817	»	6	0.966	25	245	196

	α	β	Расположение	$\delta\alpha$	Δ		Порядок
1	14°	52°	Внутр.	+	3.33	5.55	II
2	35	50	»	+	1.32	6.34	II
3	39	49	»	+	0.83	5.73	II
4	43	48	»	+	0.41	5.66	II
5	29	50	»	+	0.91	2.52	II
6	16	51	»	+	1.27	2.07	II

Система четырех первых орбит удалена от двух последних на промежуток в 77 дней, и мы не видим, каким образом их объединить в один поток. Итак, допустим два потока: первый на 37 дней, а второй на 16. Плоскости орбит пересекаются очень далеко от эклиптики, следовательно, и от плоскостей больших планет.

Потоки, произведенные истечениями, были изменены в частных пучках возмущающим действием Юпитера.

	№	Встреча	n	q	i	☊	ω
XLV	157	Нисход.	1	0.982	170°	83°	201°
	192	»	2	0.427	168	108	279
	409	»	3	0.116	17	145	321
	440	»	4	0.521	12	150	320
	463	»	5	0.220	13	152	304
	491	»	6	0.422	7	163	279
	556	»	7	0.653	4	175	253
	603	»	8	0.769	3	188	238

	α	β	Расположение	δα	Δ		Порядок
1	21°	51°	Внутр.	+	0.45	0.86	II
2	99	33	Внешн.	+	0.99	0.81	II
3	141	17	»	+	1.27	0.57	II
4	140	37	»	+	1.06	0.06	II
5	124	24	»	+	1.16	0.62	II
6	99	33	»	+	0.58	0.47	II
7	73	42	»	+	0.19	0.33	II
8	58	45	»	+	0.06	0.26	II

Две первые орбиты представляют собой поток с обратным движением; продолжительность 26 дней; плоскости не пересекаются на эклиптике; кроме того, одна орбита внешняя; однако малая величина наклонения допускает значительные возмущения от Юпитера.

Шесть других орбит относятся к другому потоку с орбитами, частично видоизмененными Юпитером. Эти орбиты — внешние, но с убыванием наклонения они приобретают способность проходить через сферу действия планеты. Различные пучки орбит, содержащиеся в конусе, порожденном истечениями, испытали различные возмущения по причине различия их элементов. Нельзя допустить, что Юпитер вызвал непосредственное разложение кометы, ибо в таком случае эти орбиты не могли стать внешними и каждая из них должна была бы встречать сферу деятельности Юпитера. Но это имеет место только для орбит 4, 7 и 8; действительно, угол, образуемый пересечением их плоскостей с плоскостью эклиптики, таков: для орбит 4 и 8 — 2°.3, для орбит 4 и 7 — 2°.3; угол, под которым виден из Солнца радиус сферы деятельности Юпитера (0.28), составляет 3°.1.

Внимательный просмотр сложных радиантов привел нас к заключению, что во всех случаях, — за некоторыми исключениями, для которых вопрос не решен, — происхождение метеоров заключено в истечениях из ядер комет. Частицы истечений, происшедших после прохождения производящей кометы через

перигелий и направленных к Солнцу, должны описывать эллиптические орбиты.

Пучкам орбит, происшедшим по этому способу образования, более свойственно, чем производящей параболической комете, приближаться к большим планетам и испытывать от них более или менее сильные возмущения, весьма различные для различных частей одного и того же пучка; отсюда становится возможным одновременное существование целого ряда орбит, весьма разнообразных по их элементам.

В сложных радиантах мы часто встречаем подобные ряды орбит, объединенные родственной связью.

Не нужно также забывать, что указанные истечения всегда происходят на значительной дуге кометной орбиты, следовательно, может образоваться целая система пучков метеорных орбит. Поэтому явление в действительности довольно сложно.

Ясно, что истечения ни в какой степени не зависят от направления движения производящей кометы, тем более, что для комет, отмеченных в наших каталогах, число комет с прямым движением почти то же, что и число комет с обратным движением. Таким образом, нужно ожидать того же самого и для наших сложных радиантов.

Действительно, во всех 45 случаях сложных радиантов мы имеем в сумме 285 орбит (считая в том числе и полярный радиант); из них 138 прямых и 147 обратных. Эти числа вовсе не позволяют заключить о преобладании одного вида орбит перед другим.

Если сосчитать число дней для различных радиантов (длящихся больше 6 дней), то для прямых потоков мы найдем в сумме 411 дней, а для обратных потоков —508 дней. Если даже опустить потоки, длящиеся менее 10 дней, мы получим для 18 прямых потоков 404 дня, а для 15 обратных потоков — 470 дней. Отсюда средняя длительность одного прямого потока —23 дня, а обратного потока — 31 день. Это различие объясняется, быть может, следующим обстоятельством: для прямых потоков возмущения Юпитера в сумме более сильны, чем для обратных потоков, и, следовательно, прямые потоки быстрее оскудевают

метеорами и их радианты быстрее начинают скрываться от наблюдателя.

Массы, оторвавшиеся от производящей кометы, могут иногда быть столь велики, что они образуют настоящие новые кометы и между ними кометы эллиптические. Известно несколько примеров подобного дробления комет, проходивших через сферу деятельности Юпитера, и можно указать также на примеры дробления под действием внутренних сил, развившихся в теле кометы из-за энергии Солнца на больших расстояниях от Юпитера.

В наши дни наблюдателям удается отметить значительное число подобных фактов. Вследствие очень слабого вероятия для встречи параболической кометы с Юпитером, можно видеть, что в дроблении, вызванном внутренними силами, истечениями, имеется деятель более общий, который подготовляет и облегчает захват и образование комет с короткими периодами.

Но мы видели, что направление движения не характерно для метеоров; напротив, все периодические кометы, относительно которых предполагают, что они были захвачены Юпитером, дви жутся в прямом направлении.

Однако в производных эллиптических орбитах величина большой оси зависит от силы толчка[1] (от начальной скорости j). Так как нужно принять, что импульс сообщает бóльшую скорость метеору, чем какой-либо значительной части кометы, то отсюда следует, что эллиптические орбиты метеоров должны вообще быть менее удлиненными, чем орбиты производных комет, и что большие оси этих комет должны быть вообще, за некоторыми необычными исключениями, весьма значительными. Для всех этих комет направление движения не является характерным.

Среди этих производных комет Юпитер начинает захват путем преобразования их траекторий в орбиты с короткими

[1] Th. Brédikhine. Sur l'origine des étoiles filantes. Bulletin de la Société des Natur. de Moscou, 1889, № 1, Annales de l'Observatoire de Moscou, série 2, vol. II.

периодами и прямым движением в согласии с процессом отбора, подробности которого столь хорошо развиты в превосходном мемуаре [1] Калландро [136]. Замечательно, что между периодическими кометами с периодом в 14 лет две кометы являются прямыми и одна обратной, для периода в 33 года — одна прямой и одна обратной; периоды от 60 до 100 имеют четыре прямые кометы и одну обратную комету; периоды 100—500 лет дают пять прямых комет и четыре обратных; наконец, для периодов от 500 до 3000 лет восемь являются прямыми и шесть обратными.

В некоторых исключительных случаях истечения могли быть настолько сильны, что они непосредственно дали рождение эллиптической комете с коротким периодом. Такой случай мог быть с кометой Энке, немного не согласующейся с теорией захвата. Ее эллипсис таков:

$$q=0.343,\quad e=0.8467,\quad a=2.21,\quad T=3.31 \text{ года.}$$

Чтобы произвести этот эллипсис [2] из параболы, имеющей то же самое расстояние перигелия $q=0.343$, допустим, что дробление произошло при истинной аномалии $v=+90°$; полагая $j=0.15$, а $J=+37°$, будем иметь $a=2.21$; откуда при том же самом q получаем то же самое e.

Еще несколько слов о квазинеподвижных радиантах. В 1878 г. Деннинг объявил, что несколько потоков кажутся очень длительными. В 1884 г., развивая свою мысль, он настаивал на существовании последовательных появлений метеоров в точности из одной точки неба после небольших перерывов видимого спокойствия: он назвал эти радианты неподвижными точками радиантов.

Эти радианты могли бы рассматриваться как игра природы [137]. Но скоро точка радианта растворилась в площадь, которой была схематически придана фигура круга.

---

[1] O. Callandreau. Étude sur la théorie des comètes périodiques. Annales de l'Observatoire de Paris, Mémoires, t. XX.

[2] Th. Brédikhine. Sur l'origine des comètes périodiques. Bulletin de la Société des Natur. de Moscou, 1889, № 2. Annales de l'Observatoire de Moscou, série 2, vol. II.

В 1899 г. Деннинг в своем генеральном каталоге радиантов (278) уже дает на карте этому кругу диаметр в 7° для всех радиантов, считая в их числе и неподвижные. Однако изучение текста показывает, что для радиантов большой длительности диаметр круга радиации растет до 10°, а иногда даже и до 12°: № 3, 6, 25, 43, 45, 53, 56, 58, 64, 67, 68, 91, 94, 105, 118 и т. д.

Нарисовав круги в 10° на карте Деннинга, мы увидим, что радианты, находящиеся в областях неба, богатых радиантами, касаются и даже частично налагаются друг на друга, так что один радиант там переходит в другой и т. д. Но какова же та неподвижная точка, которая способна перемещаться внутри площади, на диаметре которой можно расположить, друг рядом с другом, 20 солнечных дисков?

Можно было бы рассматривать неподвижный радиант как инструмент для классификации, для системы. Но классификация не должна быть основана на внешних признаках, а в неподвижных радиантах объединяются объекты, которые являются соседними только по внешности, и разделяются такие объекты, между которыми имеются родственные связи.

Земля, описывая свою орбиту, встречает множество семейств метеоров, часто весьма усложненных возмущениями, но все широко расставленные пучки одного и того же семейства не могут падать на Землю; отсюда ясно, что разные пучки одного и того же семейства могут образовать достаточно различающиеся между собой радианты.

С другой стороны, пучки, или части пучков от других семейств, могут, вследствие аберрации движения, придти на место какого-либо радианта, который был уже образован.

Итак, составляя неподвижный радиант, мы подвергаемся опасности связать в один пучок орбиты различного происхождения и оставить в стороне — для других радиантов — орбиты того же самого семейства.

Мы могли бы подтвердить эти соображения несколькими примерами, выбранными из каталогов Деннинга, но, чтобы не

сделать выбора по предубеждению, возьмем попросту сложный радиант I каталога 1890 г.

Координаты этого радианта: $\alpha = 6°$, $\delta = +11°$.

Для времени видимости этого радианта (от 13 июля до 22 сентября) мы можем составить ряд радиантов, отличных от нашего по их координатам, но орбиты которых[1] явно имеют родственные связи с орбитами радианта I. Обозначим (I) эту группу орбит.

(I)	№	☊	q	i	π	α	δ
1	209	111°	0.336	131°	41°	338°	+10°
2	232	118	0.180	12	69	317	—11
3	241	121	0.098	141	158	75	+31
4	277	127	0.906	126	345	7	+37
5	334	135	0.498	127	46	3	+27
6	335	136	0.400	137	58	4	+20
7	350	136	0.128	79	94	343	+12
8	409	145	0.116	17	106	345	0
9	463	152	0.220	13	96	346	+ 1
10	515	168	0.473	167	81	46	+23

Для сложного радианта I имеем следующие элементы орбит·

I	№	☊	q	i	π
1	210	112°	0.900	166°	331°
2	293	128	0.427	163	48
3	294	129	0.485	163	41
4	318	133	0.372	161	58
5	412	148	0.058	120	120
6	431	150	0.112	114	111
7	456	151	0.042	80	138
8	465	153	0.023	87	136
9	529	173	0.158	17	126
10	561	177	0.296	112	111
11	574	180	0.322	9	111

Орбиты 2, 3 и 4 списка I соответствуют орбитам 5, 6 и 10 списка (I); орбиты 9, 10 и 11 списка I — орбитам 2, 8 и 9

[1] И. Клейбер. Определение орбит метеорных потоков, 1891.

списка (I); орбита 1 списка I — орбите 4 списка (I) с возмущениями в i и ☊; орбиты 5 и 6 списка I—орбите 3 списка (I) с возмущениями в i и ☊; наконец, орбиты 7 и 8 списка I соответствуют орбите 7 списка (I).

Вообще между соответствующими орбитами в списках I и (I) имеется более сродства элементов, чем между различными орбитами одного и того же радианта I или (I). Не следует забывать, кроме того, что положение перигелия есть наименее устойчивый элемент в орбитах списка I, как и в орбитах списка (I), но как в первом, так и во втором случае π занимает те же самые четверти окружности: 1-ю, 2-ю и 4-ю.

Каталоги радиантов для большего удобства при употреблении с теоретической целью должны были бы содержать истинные направления потоков, а не видимые. Можно также пожелать, чтобы координаты этих направлений были отнесены к эклиптике.

1902, февраль.

(Известия Академии Наук, 1902, март, т. XVI, № 3)

ОБ УЧАСТИИ ЮПИТЕРА В ОБРАЗОВАНИИ РАДИАНТОВ ПРОСТЫХ

В моей заметке об участии Юпитера в образовании сложных радиантов я пытался показать, что первичное происхождение метеоров по большей части должно быть приписано истечениям из ядер, возбужденным солнечной энергией. Итак, это действие Солнца должно рассматриваться в качестве причины для разложения комет, как более всеобщий деятель, чем притяжение больших планет.

В случае сложных радиантов критерием нам служит пересечение плоскостей метеорных орбит.

Нам нехватает критерия для случая простых радиантов.

Однако можем сказать, что вообще простые потоки, так как они были менее рассеяны планетными возмущениями, должны быть еще в меньшей степени приписаны разлагающему действию больших планет. Именно с целью получить еще некоторые данные в поддержку этого мнения мы вычислили расстояние между орбитами[1] простых потоков и орбитой Юпитера для радиуса-вектора, равного большой полуоси его орбиты, то-есть для $r = 5.2$.

Есть несколько поводов, чтобы принять периодичность этих радиантов, другими словами, эллиптичность их орбит, хотя оси этих последних нам неизвестны.

[1] В каталоге Деннинга (1890) я различаю 550 простых радиантов; их орбиты находятся в неоднократно упомянутом сочинении И. Клейбера.

Положим произвольно $a = 4$, имея в виду, что результаты всегда будут лучше для эллипсиса с такой осью, чем для параболы, и отметим, что наша формула совершенно достаточна для вычисления расстояний, если эти расстояния сравнительно малы; она становится только приблизительной, когда расстояния довольно велики. В конце концов, в нашем случае эти расстояния имеют мало значения.

Чтобы превратить параболические орбиты в эллипсисы, можно применить прием, указанный в моей упомянутой заметке: другими словами, нужно придать с соответственным знаком к величине $\omega = \pi - \Omega$ поправку, равную $\delta\omega$. Величины $\varphi = 180° - v$ приводятся в той же самой заметке.

Таблица расстояний Δ, которые, разумеется, относятся к современной эпохе, опубликована полностью в Известиях Академии Наук, 1902, декабрь.

Из 550 орбит, содержащихся в таблице, 280 являются внешними и 270 внутренними; из числа последних 152 имеют прямое движение и 118— движение обратное; между внешними орбитами 191 прямая и 89 обратных; в целом 343 прямых и 207 обратных.

Между внешними орбитами 26 способны встречать сферу действия Юпитера, ибо они имеют $\Delta < 0.3$, что зависит здесь почти исключительно от малой величины наклонения i.

Что касается внутренних орбит, то из них 71 имеет возможность попадать в сферу действия Юпитера и, может быть, даже в более высокой степени.

Действительно, мы ввели в вычисление $a = 4.0$, но прохождение около орбиты планеты может происходить у многих орбит, имеющих другие значения a, при условии, чтобы было соблюдено известное требование по отношению к Юпитеру, другими словами:

$$q(1 + e) = a(1 - e^2) = 1.677.$$

Согласно этому условию имеем:

$q =$	0.90	0.95	0.97	0.99	1.01
$a =$	6.60	4.05	3.58	3.23	2.97
$e =$	0.86	0.77	0.73	0.69	0.66

Предположим, что условие соблюдено для большой части внутренних орбит, например для целой половины их. В этом случае 135 внутренних и 254 внешних орбиты, в целом 389 орбит, не приближаются к орбите Юпитера.

Наконец, уже само число 254 орбиты внешних, которые ни в коем случае не могут приближаться к большой планете, то-есть 254 случая разложения, не зависевшего от планет, позволяют настаивать на следующем выводе, уже высказанном нами несколько раз.

Разложение кометы на падающие звезды (на метеоры) может быть произведено: 1) обычным притяжением Солнца, 2) притяжением больших планет и 3) истечениями из ядер, возбуждаемыми в комете Солнцем с ее приближением к нему [138].

Этот последний деятель, на известном расстоянии от Солнца, является более частым и более всеобщим в кометном мире, чем второй. Второй деятель проявляется только на коротких расстояниях от больших планет, внутри их сфер действия. Действия этих двух деятелей никоим образом не исключают друг друга. Что касается первого деятеля, его действие всегда сочетается с действием второго в такой степени, что трудно или, вернее, невозможно оценить количественно их взаимное отношение; во всяком случае ясно, что сила каждого из них должна изменяться с переменой расстояния между кометой и Солнцем.

Второй и третий деятели могут один за другим принимать участие в разложении одной и той же кометы. Так должно было быть в случае кометы Биела.

Деление главного потока Биелид, начиная с 1741 г. и до тех пор, пока существовало тело кометы, объясняется, может быть, действием Солнца и Юпитера в различные эпохи. Первое действие могло привести к появлению истечений недалеко от перигелия, где $r=0.86$, а второе — произвести разложение в отдалении от Солнца, где $r=5$.

В моих заметках о сложных радиантах[1] я пытаюсь показать, что полярный радиант, являющийся в действительности довольно обширной площадью радиации около полюса эклиптики, образован 12 различными самостоятельными потоками или, в смысле его происхождения, 12 различными кометами, наклонения которых заключались между 40° и 45°, перигельные расстояния q — между 0.98 и 1.01 и узлы были распределены, хотя и неравномерно, по всем четвертям окружности эклиптики.

Но, может быть, такая комбинация q и i настолько исключительна и необычна, что для ее объяснения было бы нужно прибегнуть к какой-нибудь дополнительной гипотезе?

Чтобы осветить этот вопрос, рассмотрим с помощью таблицы, извлеченной из каталога Деннинга (1890), в какой пропорции указанные значения q (0.98—1.01) связаны с всевозможными величинами i между 0° и 180°. Здесь нужно отметить, что известные радианты, принадлежащие по совокупности их элементов, очевидно, одному индивидуальному потоку или одному индивидуальному пучку в некотором сложном радианте, часто наблюдались или в разные годы, или в одну эпоху, но в течение нескольких соседних дней, и отличаются между собой на несколько градусов в i и в ☊; это происходит оттого, что метеорные орбиты расходятся на несколько градусов уже при их образовании.

Итак, в каждой группе подобных радиантов надо видеть единый радиант. Вот таблица, упомянутая выше.

№	q	i	№	q	i	№	q	i
1	0.984	85°	21	0.982	154°	82	0.989	48°
2	0.982	75	26	0.982	59	89	1.001	69
5	0.984	73	27	0.984	50	92	0.989	105
6	0.984	75	52	0.993	67	108	0.986	102
8	0.984	71	58	0.984	33	109	1.000	144
11	0.984	24	63	0.998	49	110	0.989	106
15	0.984	91	80	0.989	38	111	1.002	47

[1] Известия Академии Наук, 1900, январь, т. XII, № 1, стр. 117—118 и 1902, март, т. XVI, № 3, стр. 61 — 62[139].

№	q	i	№	q	i	№	q	i
112	1.002	55°	220	0.993	49°	445	1.005	132°
113	1.000	77	221	1.002	105	446	1.007	168
114	1.007	10	222	0.984	25	447	0.977	156
117	1.005	47	227	0.991	36	449	0.979	90
118	0.993	21	229	1.014	71	459	0.984	131
121	0.993	109	230	1.002	81	461	0.993	44
122	1.007	16	236	1.009	143	466	1.005	92
124	1.002	46	245	1.014	43	468	0.998	153
125	0.993	38	251	1.014	108	479	1.002	53
128	0.982	18	252	1.016	154	483	0.991	153
129	1.002	38	253	1.002	141	484	0.993	28
138	1.007	45	255	1.014	44	485	1.010	33
140	1.009	44	256	0.982	35	489	1.000	93
141	0.989	44	260	1.010	104	494	0.998	108
142	1.009	128	267	1.014	169	496	0.993	133
145	1.007	59	278	0.995	106	497	0.995	79
147	1.012	44	279	1.002	141	504	0.977	135
150	1.014	57	282	1.014	40	506	1.000	166
152	1.002	67	283	1.014	40	508	1.007	41
155	1.016	42	284	0.995	35	509	1.002	15
156	1.014	66	287	1.012	109	516	0.982	166
157	0.982	170	289	1.007	171	520	0.995	147
159	0.985	61	295	0.989	113	527	0.991	162
165	1.016	59	296	0.989	86	528	1.002	95
166	1.019	48	303	0.989	74	537	1.002	122
169	0.993	82	331	1.009	123	538	0.991	160
172	1.005	24	337	1.012	98	550	0.998	162
173	1.016	22	338	1.014	160	555	0.995	101
174	0.991	116	358	0.984	33	559	1.002	125
177	0.998	34	376	0.995	127	560	0.995	83
184	1.009	68	382	1.002	70	573	1.000	147
185	1.012	129	413	1.007	136	579	1.000	99
188	0.991	108	414	1.002	28	580	0.991	51
190	0.982	57	422	1.012	112	589	0.991	146
191	1.014	43	425	1.002	40	591	1.000	97
193	1.016	130	426	1.009	45	596	1.005	15
198	1.016	96	434	0.991	90	607	0.991	170
199	0.980	104	435	0.989	45	609	0.991	97
212	0.986	26	437	0.984	68	610	0.998	86
214	1.002	53	439	0.993	69	614	0.995	154
219	1.005	106	442	1.012	60	615	1.000	86

№	q	i	№	q	i	№	q	i
617	0.993	45°	664	0.998	100°	783	0.989	79°
618	0.986	48	679	0.995	124	845	0.982	90
630	0.995	43	683	0.995	68	868	0.984	74
641	0.989	162	686	0.991	163	874	0.982	84
642	0.991	100	688	0.995	117	883	0.982	119
651	0.998	72	720	0.993	141	884	0.993	76
663	0.995	137	725	0.993	67	914	0.982	37

Таблица содержит 165 орбит, но, согласно замечанию выше, в ней нужно соединить в один радиант каждую из следующих групп, помещенных в скобки: (2, 5, 6, 8); (92, 110, 121); (111, 117, 124); (138, 140, 141); (199, 219, 221); (260, 278); (253, 279); (155, 166); (245, 255, 282, 283); (425, 426, 435, 449, 461); (437, 439); (442, 466); (447, 468); (496, 504); (506, 516); (506, 516); (537, 559); (617, 618, 630); (642, 664). Итак, остается 135 потоков, которые мы разделим на группы по наклонениям через 10°.

i	Число потоков	i	Число потоков
0°—10°	0	90°—100°	11
10—20	5	100—110	10
20—30	8	110—120	5
30—40	11	120—130	6
40—50	12	130—140	6
50—60	10	140—150	7
60—70	9	150—160	5
70—80	10	160—170	9
80—90	8	170—180	3

Отсчитывая острый угол i в обратном движении, мы получаем:

i	Число потоков	i	Число потоков
0°—10°	3	50°—60°	16
10—20	14	60—70	14
20—30	13	70—80	20
30—40	18	80—90	19
40—50	18		

Эти таблички показывают, что расположение орбит, образующих площадь полярной видимой радиации, не представляет,

ввиду изобилия метеорных потоков, никакой исключительной комбинации, требующей специальной дополнительной гипотезы.

Мы просто заметим мимоходом, что Деннинг часто возвращался к наблюдению этой полярной радиации, прежде всего потому, что она доступна наблюдателю во все времена года, затем потому, что, не признавая различия истинного направления движения и движения относительного, он думал увидеть в ней подтверждение своей идеи об индивидуальном неподвижном радианте, продолжительность которого охватывает почти целый год. Однако мы знаем, что подобный радиант, по сути дела, не более чем теоретическое недоразумение.

Я пользуюсь случаем высказать несколько соображений о потоке Персеид.

Вот таблица элементов Персеид: ☊, q, i и ω; (C) обозначает орбиту кометы; D — расстояние до эпохи максимума M, выраженное в градусах долготы узла.

		☊	D	180°—i	ω	q
Июля	24.7	122°	—17°	71°	155°	0.953
	26.9	124	15	67	142	0.894
	30.0	128	11	56	150	0.933
Августа	3.4	132	7	58	155	0.953
	5.6	134	5	55	158	0.963
	7.9	136	2	57	156	0.957
(C)	—	(137)	—	(66)	(153)	(0.963)
	9.9	138	—1	57	150	0.933
M	10.5	138	0	66	148	0.924
	11.4	140	+1	54	172	0.995
	14.5	142	4	60	161	0.972
	20.9	149	10	60	191	0.991
	26.0	154	15	54	212	0.924
	30.0	158	19	52	219	0.888
Сентября	3.4	162	23	57	223	0.886
	6.6	165	+26	58	234	0.794

Чтобы набросать теоретический план явления, нужно рассмотреть орбиты метеоров, проходящих совсем близко от самой орбиты Юпитера, однако в этом случае способ Гаусса становится неприменимым. В самом деле, действие Юпитера очень велико: диаметр площади радиации часто превосходит 45°, и элементы орбит подвергались чрезвычайным возмущениям. Вот, например, орбиты нескольких частных радиантов для площади радиации, взятой наугад:

180°—i	20°	42°	52°	63°	71°	87°	102°
ω	193	289	184	148	182	152	208

Эти орбиты должны были проходить сквозь сферу деятельности Юпитера. Итак, нам остается только прибегнуть к нашей табличке[1], где даны прохождения метеоров на расстоянии $\Delta=0.15$ от центра планеты:

	N	S	L	P
δ☊	+4′	+3′	—2′	—2′
δi	+3°0	—2°9	—0°4	+1°0
δπ	+2°8	—2°1	—0°9	+1°7
δq	—0.1232	+0.1209	—0.0648	+0.0313

N обозначает прохождение метеора через (или около) орбиту Юпитера, спереди от планеты; S — прохождение сзади; L — прохождение по линии Солнце — Юпитер, за планетой, и P — прохождение перед Юпитером. Легко понять, что для длинного ряда прохождений в положениях N и S можно взять среднее арифметическое соответствующих чисел, и мы будем иметь:

	NS	L	P
δ☊	+3′5	—2′	—2′
δi	+3	—24	+60
δω	+17	—52	+104
δq	—0.001	—0.065	+0.031

[1] Sur la dispersion des radiants des météores. Bulletin de l'Acad. de Sciences de St.-Pét., 1892, vol. VII, p. 262 [140].

Не нужно упускать из виду, что эти числа быстро убывают с увеличением Δ.

Числа столбца NS по их ходу и по знакам находятся в согласии с элементами Персеид после эпохи M; это особенно относится к ω, что очень важно. Кривая хода i является волнистой, но всегда нужно помнить, что распределение радиантов на площади радиации не является равномерным, исключая момент эпохи.

Столбцы L и P показывают, что существуют метеоры, которые могут, с некоторыми перерывами, или отступать назад, или стоять на месте, одним словом, метеоры, способные помещаться сзади от узла кометы. Это — метеоры, наблюденные до эпохи M. Их площади радиации всегда очень обширны, и частные радианты распределены на них совсем неправильно, что вызывает неправильности в кривой хода i и ω, а эти элементы должны соответствовать предполагаемым центрам площадей радиации. Метеоры столбца L, кажется, преобладают над метеорами столбца P, то-есть пучок орбит в своей большей части встречает плоскость эклиптики за орбитой Юпитера.

Перерывы, упомянутые выше, являются, вероятно, причиной большого различия между крайними числами D до и после эпохи (17 и 26).

Производимое Юпитером рассеяние метеорных орбит столь сильно, что для многих из этих орбит постепенно встреча с Землей становится невозможной, оттого что для такой встречи у них уже нет свойств для выполнения известных условий в отношении ω и q.

Прогрессивное ослабление радианта периодически компенсируется новыми излияниями при каждом возвращении к Солнцу производящей кометы; в 1862 г., например, наблюдалось довольно обильное излияние и даже образование аномального хвоста.

Из всего того, что мы говорили выше, видно, что орбиты Персеид — эллиптические; добавим еще, что времена обращения для центральной части конуса истечения должны охватывать 8—12 лет.

Несмотря на это, большие изменения элементов Персеид могут быть объяснены возмущениями, обязанными Юпитеру.

Вот как можно представить себе явление Персеид.

В начальную эпоху комета 1862 III отделилась под влиянием солнечной энергии от некоторой большой кометы с параболической или гиперболической орбитой. Отделившаяся комета в свою очередь начала производить метеоры с эллиптическими орбитами, которые могли последовательно проходить очень близко от Юпитера и испытывать от него сильные возмущения.

Юпитер при каждом возвращении к дуге своей орбиты (122°—165°), около которой расположены восходящие узлы Персеид, пересекает их поток, где его сфера деятельности встречается на каждом шагу с характерными (посреди прочих) ломтиками [141] пучка орбит, пронизывающими плоскость планетной орбиты; с одними из них — около линии самой орбиты, с другими — около прямой Солнце — Юпитер (см. табличку выше).

Узлы для первых ломтиков вследствие этого сдвигаются немного к востоку, а для вторых — к западу.

Итак, Персеиды, вследствие разнообразия времени обращения, уже рассеялись по всей длине колец их орбит; к тому же время обращения Юпитера равно 11.86 лет, а время обращения Персеид, проходящих упомянутую сферу деятельности, заключается между 10—12 годами; наконец, время обращения производящей кометы равно 124 годам [142].

Очевидно, что на протяжении веков значительная часть метеорных орбит подвергнется сильным возмущениям, а радианты будут рассеяны.

Орбиты радианта эпохи максимума (10·5 августа), отличающиеся от остальных, проходят, безусловно, вне сферы действия Юпитера, так как они менее удалены от производящей орбиты и испытывают гораздо меньше изменений.

Можно сказать, что часть потока Персеид циркулирует между Землей и Юпитером, заставляя метеоры падать на эти две планеты; что касается части потока, образующей радиант

в эпоху максимума (10.5 августа), то она, кажется, принадлежит исключительно нашей планете.

Необычайная величина площади радиации обязана частично действию Земли, изменившей во всех смыслах направления метеорных орбит, но не сместившей их узлов и центра площади радианта. В моей заметке о свойствах метеорных потоков (Bulletin de la Société des Natur. de Moscou, 1889, № 4; Annales de l'Observatoire de Moscou, série 2, vol. II) я показал, что истечение вышедших из ядра частиц, имеющее форму кругового конуса, должно произвести продолговатую площадь радиации, почти эллиптическую, и большая ось этой фигуры будет перпендикулярна к плоскости кометной орбиты. Наблюдения Биелид (Рэниярд, Перротэн, Толлон и др.) полностью подтвердили этот вывод.

В случае разложения под влиянием одной из больших планет фигура площади может оставаться такой же, однако направление ее большой оси будет зависеть от направления относительного движения кометы по отношению к планете [143].

Вероятно, с течением времени почти эллиптическая форма площади радиации будет искажена планетными возмущениями; на основании этого мы приходим к предположению, что наличие указанного направления фигуры может свидетельствовать о сравнительно недавнем образовании потока. Решающий ответ будет дан последующими наблюдениями.

1902, декабрь.
(Известия Академии Наук, 1902, декабрь, т. XVII, № 5)

КАЖУЩЕЕСЯ СМЕЩЕНИЕ МАКСИМУМА В ПОТОКЕ ПЕРСЕИД



КАЖУЩЕЕСЯ СМЕЩЕНИЕ МАКСИМУМА В ПОТОКЕ ПЕРСЕИД

Представлено (   ) декабря 1903.

Теоретический максимум метеорного потока, происшедшего от данной кометы, должен лежать в плоскости орбиты этой кометы, если пучок истечений помещался симметрично относительно сказанной орбиты. Другими словами, гелиоцентрическая долгота Земли в эпоху максимума должна быть одинакова с долготой того узла, восходящего или нисходящего, кометной орбиты, в котором имеет место встреча Земли с потоком [144]. Так, например, поток Персеид встречает Землю в нисходящем узле орбиты кометы 1862 III. Для среднего равноденствия 1900.0 долгота этого *нисходящего* узла, годная для нескольких лет вперед и назад, равна 318°.0; следовательно, по теории, максимум должен наблюдаться в ту эпоху, когда геолиоцентрическая долгота Земли будет также равна 318°.0, или, что то же, долгота Солнца будет равна долготе *восходящего* узла кометной орбиты, т. е. 138°.0.

На практике это иногда не может быть отмечено, например в том случае, когда долгота Земли 318°.0 для станции наблюдения будет иметь место днем. Кроме того, определение максимума по сравнению количеств наблюденных в известный [промежуток] [145] времени метеоров, например в один час, зависит от прозрачности неба, от присутствия Луны и других внешних обстоятельств. Поэтому в таких определениях

положения максимума не удивительны разности в долях градуса, доходящие иногда почти до целого градуса.

Так, в 1899 г., по разным записям в Англии, метеоры были одинаково часты около полуночи 10 и около полуночи 11 августа. Нужно сказать, что — по времени, считаемому от среднего полдня Гринича, — максимум имел место 11.0 августа; между тем долгота Солнца была равна долготе восходящего узла кометной орбиты августа 10.3, т. е. положение максимума находилось по долготе впереди теоретического на 0°.7.

Для 1900 г. по наблюдениям максимум был тоже 11.0 августа при долготе Солнца 138°.3, а по теории он должен был случиться августа 10.6, когда долгота Солнца равна была 138°.0; то есть максимум был тоже впереди (по долготе) узла кометной орбиты на 0°.4 и т. д.

Явление Персеид в 1901 г. обнаружило некоторую особенность, которую нельзя объяснить одними только вышеупомянутыми внешними обстоятельствами, препятствующими удовлетворительному определению эпохи максимума густоты потока. А именно, по некоторым наблюдениям, оказывается как будто максимум переместился на 2°40′ к востоку.

В Пулкове в этом году наблюдал метеоры *г. Орлов*, который тщательно наносил пути их на звездную карту с 10 по 14 августа [146]. Карта составлена для равноденствия 1855.0. Координаты, прямое восхождение и склонение путей метеоров (Известия Академии Наук, 1902, январь, т. XVI, № 1) были нанесены мною на карту в центральной проекции и дали мне следующие частные радианты, в которых нумера метеоров обозначены теми же цифрами, как у г. Орлова. Времена по гриничскому меридиану обозначают приближенно средины времени наблюдений каждого вечера.

	Метеоры	Вес	α	δ
Августа 10	1—(5,16,17)	3	8°.0	+60°.0
	2—(11,12,15)	3	38.5	62.2
	3—(10,13,14)	3	35.0	55.0
	4—(6,9)	2	24.5	39.7

	Метеоры	Вес	α	δ
Авгссте 10	5—(4,18)	2	36°0	+39°4
	6—(8,19)	2	38.5	59.5
	7—(7,15 бис)	2	38.0	+62.2
Августа 11	1—[147]	Августа 12	1—	
	2—		2—	
	3—		3—	
	4—		4—	
	5—		5—	
	6—		6—	
	7—		7—	
	8—		8—	
	9—		9—	
	10—		10—	
	11—			
	12—			
	13—			
Августа 13	1—	Августа 14	1—	
	2—		2—	
	3—		3—	
	4—		4—	
	5—		5—	
	6—		6—	
	7—		7—	
	8—		8—	
	9—		9—	
	10—			
	11—			
	12—			

Из предыдущих частных радиантов получаю, обращая внимание на веса, следующие координаты средины площади радиации: по прямому восхождению и склонению α и δ; по долготе и широте (l) и b; l означает долготу, отнесенную к точке равноденствия 1901.0.

		Время	α	δ	(l)	l	b
Августа	10	9h8	36°4	+54°9	54° 5′	54°44′	+37°56′
	11	10.2	41.7	52.1	55 21	57 0	34 8
	12	10.1	43.7	53.6	58 23	59 2	35 7
	13	10.0	48.4	51.5	60 46	61 25	32 10
	14	10.2	43.4	+51.5	57 17	57 56	+33 13

Долготу Солнца λ возьмем для данных времен из «Nautical Almanac». Величины, фигурирующие в вычислении элементов метеорных орбит, и сами элементы их будут:

		λ	θ	ε	ε′	l′	b′
Августа	10	137°31′	80°50′	38°31′	64°39′	66° 4′	63° 8′
	11	138 30	77 42	35 4	59 2	68 3	56 54
	12	139 27	76 41	36 15	60 58	72 0	58 19
	13	140 25	73 7	33 48	56 58	74 29	53 21
	14	141 23	80 7	33 47	56 57	66 9	55 39

		s	π	ω	v	180°—v
Августа	10	81°43′	300°57′	163°26′	15°34′	6°.44
	11	79 29	297 28	158 58	21 2	58. 4
	12	78 23	297 28	158 58	23 14	60. 3
	13	75 55	292 15	151 50	28 10	55. 8
	14	81 44	304 51	163 28	16 32	56. 5

Элементы орбиты кометы 1862 III для эпохи 1900.0:

$$T = 1862,\ \text{августа } 22.9$$
$$\pi = 290°44'$$
$$\Omega = 137°59'$$
$$180° - i = 66°26'$$
$$\omega = 152°45'$$
$$e = 0.96127$$
$$a = 24.54$$
$$T = 121.5$$

В статье г. Орлова мы находим, что в один час падало приблизительно метеоров средним числом (по гринич. вр.):

Августа	10.4	4.7	метеоров
	11.4	14.1	»
	12.4	15.0	»
	13.4	17.0	»
	14.4	8.3	»

Отсюда приблизительно можно заключить, что максимум явления передвинулся к востоку на $2^\circ.6$. Это подтверждается, повидимому, часовыми числами метеоров, отмеченных в других местах наблюдений. Так, один из опытнейших наблюдателей метеоров, В. Деннинг, пишет (Monthly Notices, vol. LXII, p. 107): «Максимум потока, *казалось*, получился утром 13 августа, но облачное состояние небосвода помешало сделать хорошие сравнения. *Митчель в Мэне*, США, видел 42 метеора за час между 10^h и 11^h 13 августа, и Доль в *Огунквите*, США, насчитал 79 Персеид между $8^h.30$ и $13^h.30$ (то-есть для $10^h.8$—16 метеоров в час [148]) 13 августа, так что явление, несомненно, проявило необычную силу в такой период, который мы считаем поздним для Персеид». С другой стороны (там же), мисс Болтон в Лидсе насчитала 125 метеоров августа 10 в продолжение 2^h25^m, то есть 56 метеоров в один час, а в ночь 11 августа было отмечено 119 метеоров почти в два часа времени, т. е. по 60 метеоров в один час, так что количество их в обе эти ночи было почти одинаково. Деннинг прибавляет к тому свое заключение: «В целом явление было *решительно богаче*, чем наблюдавшееся в *обычный год*».

Отсюда просто остается сделать заключение, что поток Персеид, в главной части своей, вообще был усилен как бы притоком новых метеоров, причем получили необычную напряженность и те части потока, которые лежат вне плоскости кометной орбиты, на протяжении от ее узла, нисходящего до $2^\circ.6$ в направлении движения Земли, то-есть к востоку. К обычному в той части количеству метеоров прибавилась еще значительная часть. Очевидно, что напрасно было бы искать причину того в возмущениях Юпитера, но очень естественно приписать, согласно с моими соображениями о Персеидах (Études sur les météores cosmiques etc., 1903, p. [362]), усилению потока извержениями, очень энергичными, имевшими место в 1862 г.[149].

Для перевода времени упомянутых выше американских наблюдений на меридиан Гринича нужно к средним

числам прибавить 5^h, так что для них в среднем получим августа 13 $15^h.7$. Для этого времени долгота Солнца была 140°38′. Отсюда следует, что усиление потока имело место на протяжении 2°.6 к востоку, что согласно с наблюдениями пулковскими; остановимся на этой последней величине 2°.6.

Наблюдение Персеид в 1902 г. указывает также на усиление потока на некотором протяжении от плоскости кометной орбиты и в ту же сторону, но значительно меньше. В. Деннинг сопоставил (Monthly Notices, vol. LXIII, № 4, pp. 243—244) наблюдения, произведенные в разных местах Англии и Америки, из которых он вывел следующие данные.

На Гриничской обсерватории наблюдения производились с 9 по 13 августа, средним числом между 9 и 16 часами, и часовые числа Персеид получаются:

		D	*n*	*h*
Августа	9	5	22	4.4
	10	7	94	13.4
	11	4	67	16.7
	12	7	92	13.1
	13	2	21	10.5

Тут D означает продолжительность времени наблюдения в часах, n — число отмеченных метеоров и h — часовое число их.

А. Кинг, *Лейчестер*, нашел, что «максимум, казалось, случился 11 или 12 августа; вероятно, во вторую из этих ночей».

Из наблюдений Оливье, университет Вирджиния, США, получаются часовые числа метеоров Персеид: августа 10—11.7, августа 11—30.4.

Доль в *Огунквите*, Мэн, описывает явление Персеид как «очень активное» в 1902 г., с максимумом августа 12 $14^h.5$, очевидно по местному времени; часовые числа метеоров суть:

августа 12 — 65, для августа 13 — 49. Так как тут для максимума долгота Солнца равна 140°,2, то протяжение усиления потока, считая от плоскости кометной орбиты к востоку, доходит до 2°,2 [150].

Таким образом, мы видим, что явления предшествующего года повторились, может быть, несколько слабее и в 1902 г. Мне неизвестны еще результаты наблюдений Персеид в 1903 г., но дальнейшие вычисления покажут нам, что оно может продолжаться ряд годов и при этом сделаться периодическим, а при известных условиях даже и годичным. Повторим, что явление состоит в усилении потока вообще, причем является и видимое расширение его в сторону к востоку. Сколько известно, такого *кажущегося* перемещения не было замечено от времени появления кометы 1862 III до 1901 г. [151]. Если при этом появлении и образовались новые пучки метеоров, то встретить Землю в этом же 1862 г. они не могли, ибо Земля прошла через нисходящий узел кометной орбиты около 10 августа, меж тем как прохождение кометы чрез перигелий, отстоящий от нисходящего узла на 27°, случилось уже 23 августа. Таким образом, в орбитах метеоров, образовавших занимающее нас явление, нужно принять время обращения в 39 лет для 1901 г. и 40 лет для 1902 г. и т. д.

Для этих эпох интересно вычислить те значения g и G, которые дают для орбит метеоров сказанные времена обращения по известным формулам («Études» [152]), из которых главнейшие суть:

$$H_1^2 = H^2 + j^2 - 2Hj\cos(\beta - J);$$

$$\sin\gamma = j\sin(\beta - J) : H_1; \qquad \text{(A)}$$

$$\beta_1 = \beta + \gamma.$$

При этом нужно иметь в виду следующее.

Радиус-вектор кометной орбиты в нисходящем узле едва больше радиуса-вектора земной орбиты в том же узле.

В самом деле, для долготы Солнца 138° этот $\lg R = 0.00574$, а для кометной орбиты $\lg r = 0.00763$. Из этого видно, что величины g и G [153] должны быть выбраны так, чтобы орбиты новых метеоров встречались с Землею, то-есть чтобы радиусы-векторы этих орбит в нисходящем узле были равны радиусу-вектору земной орбиты, которого $\lg R = 0.00574$. Далее, эллиптические орбиты будут получаться почти исключительно после перигелия, и при этом в направлении движения эти орбиты будут входить внутрь кометной орбиты; следовательно, для истечений, случившихся между перигелием и нисходящим узлом, то-есть сечением с *плоскостью* земной орбиты, радиусы-векторы их в этой последней плоскости будут меньше радиуса-вектора орбиты кометной. Для истечений же из точек кометной орбиты, которых истинные аномалии v больше аномалии в нисходящем узле, сказанные радиусы-векторы будут больше радиуса-вектора кометной орбиты.

Итак, возьмем какую-нибудь точку кометной орбиты, между перигелием и нисходящим узлом, например такую, которой аномалия $v = +10°$. Так как для кометного эллипса $\frac{1}{a} = 0.00876$, то для сказанной точки $H^2 = 2.0225$. Для нее же угол радиуса-вектора с касательной $\beta = 85°5'.9$ [154].

В связи с этим следует заметить, что мощные извержения кометы 1862 III (Секки, Шмидт и др.) совершали большие колебания около радиуса-вектора и иногда уклонялись от плоскости кометной орбиты (см. Bredichin's Mechanische Untersuchungen über Cometenformen, 1903, T. III, [стр. 237—249]).

Сказанное вычисление дает при известных элементах орбиты кометы 1862 III для 1900.0 (см. выше стр. [434]).

Для обращения в 39 лет:

J	j	$\lg R$
20°	0.0404	0.00345
30	0.0293	0.00490

J	j	$\lg R$
40	0.0236	0.00579
41	0.0231	0.00590

откуда видно, что для угла $J = 39°.5$ получается величина $j = 0.024$ и $\lg r = 0.0574$, что вполне удовлетворяет поставленным выше условиям. Для орбит с обращением (периодическим временем) в 40 лет получим подобным образом:

$J = 40°$,	$j = 0.0228$,	$\lg r = 0.00590$
39	0.0232	0.00579

Отсюда заключаем, что для обращения в 40 лет и для встречи с Землею будем иметь: $j = 0.0230$, $J = 38\overset{\circ}{.}5$, $\lg r = 0.0574$.

Видно, между прочим, что для изменения T на один год угол J при прежнем почти j должен измениться лишь на один градус. Для повторения явления в 1903 г. нужно изменить J еще на один градус и *проч.*

Орбиты новых метеоров, вышедших из точки $v = +10°$, составляют с эклиптикой углы наклонения i, отличные от угла i плоскости кометной орбиты. Для уклонений их по узлу от кометного узла на величины $1°0'$, $1°55'$ и $2°40'$ вычислим эти новые наклонения. Получим соответственно: $180° - i = 69\overset{\circ}{.}4$, $72\overset{\circ}{.}6$ и $74\overset{\circ}{.}5$. Из того же треугольника определятся углы отклонения истечения от плоскости орбиты; они будут соответственно: $3\overset{\circ}{.}2$, $6\overset{\circ}{.}2$ и $8\overset{\circ}{.}7$ [155]. Средняя величина наклонения для всех орбит, от лежащих в плоскости кометной орбиты до крайней новой к востоку, будет $70\overset{\circ}{.}5$. Нам известно, что вообще для орбит метеоров к востоку от главного потока наклонение меньше на $10°$ с лишком. Таким образом, при смешении в равной пропорции новых орбит со старыми получим: $180° - i = 63°$. Средняя величина наклонения, выведенная выше из наблюдений Орлова, есть $59\overset{\circ}{.}0$. Эта разница в $4°$ при незначительном количестве наблюдений не имеет серьезного значения.

В самом деле, положение узла есть факт, обнаруживаемый непосредственно наблюдением метеоров при данном положении Земли на ее орбите.

Что касается до перигелиев и наклонений метеорных орбит, то они определятся с некоторой точностью только при очень большом числе нанесенных на карту метеоров. Ибо, если площадь радиации велика, как, например, для Персеид в 10°, 15°, даже 20° диаметра, то ясно, что несколько десятков метеоров не заполнят *равномерно* всех частей площади радиантами и, следовательно, средина полученной фигуры не будет совпадать с действительным центром радиации. Вот почему для Персеид определение сказанных элементов в последовательные дни явления дает различные величины, в которых видны скачки в несколько градусов. Можно с достаточной достоверностью заключить только, что после эпохи максимума наклонения сильно возмущенных Юпитером орбит менее значительны, до 10° меньше, чем до эпохи максимума (см Brédikhine. Études [156]). Таким образом, и в 1901 г. [наклонения] для новых метеоров, орбиты коих по теоретическим заключениям имеют среднее число i около 70°, во-первых, тоже ошибочны по вышесказанной причине, а во-вторых, и оттого, что они присоединяются к метеорам некоторой части прежде существовавшего потока, продолжающегося, как известно, до сентября.

Понятно само собой, что метеоры новой формации (1862 г.) не могут быть выделены на общей площади радиации от метеоров прежних формаций, выпущенных кометой при прежних ее приближениях к Солнцу.

В соображениях моих относительно Персеид я пришел к заключению (книга, стр. [184] [157]), что орбиты метеоров, лежащие по обе стороны от кометной орбиты, должны были пройти чрез сферу деятельности Юпитера, чтобы в них обнаружились большие изменения *узлов* и наклонений; у плоскости же кометной орбиты остаются те метеоры, которые по своим орбитам не могут подвергаться или еще не

подверглись значительным возмущениям от названной планеты.

Для наших предыдущих соображений мы произвольно взяли точку истечения в 1862 г. на расстоянии $+10^\circ$ от перигелия кометной орбиты и нашли ту пару g и G, которая в 1901 г., то есть чрез 39 лет, дала ломтик орбит, перпендикулярный, конечно, к плоскости орбиты, которые удовлетворяли условию встречи с земной орбитой, а значит, и с Землею; легко понять, что точка, отстоящая от перигелия на $+11^\circ$, даст тоже соответственную пару g и G, близких к прежним и удовлетворяющих тоже условию встречи метеоров с Землею. Равным образом и для точек с расстоянием от перигелия на $+9^\circ$ получим подобное же. Одним словом, легко заключить, что на орбите кометы можем иметь между перигелием и узлом целый непрерывный ряд точек истечения, дающих для непрерывного же в известных пределах ряда величины g и G, при которых метеоры в 1901 г. могли встретить Землю. Различие g следует приписать, конечно, различию в плотности и объеме частиц, увлекаемых извергаемыми из ядра потоками истечений. Мы говорили уже, что тут могут быть частицы и с такими g и G, при которых они способны встретить Землю в 1902, 1903 гг. и т. д.

Из сведений о Персеидах за протекшие полвека видно, что напряженность их центральной части, лежащей в плоскости кометной орбиты, бывала неодинаково сильна в различные годы; но из этих беглых указаний нельзя еще вывести заключения о периоде усиления, и я только на основании теоретических соображений говорю (цит. соч., стр. 363): По всему тому, что говорили выше, видно, что орбиты Персеид суть эллиптические; добавим еще, что времена обращения для центральной части конуса истечения должны охватывать 8—12 лет[158]. Вопрос о том, каким образом при периодических временах орбит 8—12 лет явление может быть ежегодным, разрешается необходимым следствием образования потоков при посредстве периодичности кометных извержений чрез 120 лет.

Прогрессивное ослабление радианта периодически компенсируется новыми излияниями при каждом возвращении к Солнцу производящей кометы; в 1862 г., например, наблюдалось довольно обильное излияние и даже образование аномального хвоста [159]. Эти компенсации происходят в разные эпохи, и легко понять, что нескольких обращений кометы достаточно для того, чтобы при периодических временах 8—12 [лет] и при большей периодичности, обнявшей 120 лет, явление сделалось навсегда ежегодным [160].

ПАДАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ





ПАДАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ

Кто в ясную ночь внимательно станет рассматривать звездное небо, тому непременно удастся заметить то здесь, то там промелькнувшую и скоро угасшую звезду. Такая *падающая* звезда большей частью лишь блестящей точкой пронесется по звездным пространствам, иногда же, гораздо реже, ярким огненным шаром проплывет в высоте, приметно осветивши собою небосклон. Бывали даже случаи, что подобные метеоры замечались среди белого дня.

Если несколько наблюдателей, соединившись вместе и разделивши между собою небо на части, посвятят падающим звездам по несколько часов ночи в различные времена года, то им придется отметить огромное число мелькнувших пред их глазами метеоров. Число это будет гораздо значительнее, когда зрительная труба поможет видеть такие мелкие падающие звезды, которые пролетают, не будучи замечены невооруженным глазом. Средним числом можно считать, что в течение шести часов ночи над всей Землей пролетает до миллиона восьмисот тысяч падающих звезд, видимых для простого глаза. Если заметим, что при помощи труб их усматривается в 50 раз больше, чем невооруженным глазом, то должны будем заключить, что в течение целых суток число звездных падений доходит для всей Земли до 400 миллионов. Только что сказанные числа суть средние, но выдаются ночи, когда число метеоров так громадно, что они пролетают по небу пред нашими глазами как хлопья

снегу и счесть их все тогда нет никакой возможности. Так, в 1833 г., 12 ноября[1], Ольмстед в Бостоне в 15 минут и менее чем на одной десятой части видимого ему небосклона насчитывал до 650 падающих звезд, сознавая притом, что, вероятно, целая треть их оставалась им не сосчитанной. Из этого можно заключить, что в одном Бостоне в течение семи часов, то есть пока длилось явление, можно было бы видеть простым глазом около 250 тысяч падающих звезд. Из этих пролетающих в пространстве метеоров некоторые падают на поверхность нашей планеты, повидимому не успев еще сгореть или обратиться в пар. Павшие на землю метеоры известны под названием метеорических камней, аэролитов, метеорического железа.

Занимаясь наблюдениями над падающими звездами в различные времена года, не трудно убедиться, что некоторые из них бороздят небо как-то одиночно, по всевозможным направлениям, меж тем как другие, являясь в большем числе, следуют некоторым общим определенным направлениям и принадлежат как бы отдельным роям. Первые называются *спорадическими* (σποραδικός — рассеянный), а вторые *систематическими* (σύστημα — куча).

Высота, на которой появляются метеоры, чрезвычайно различна; большею частью она колеблется в пределах между 10 и 20 географическими милями, так что за среднее число для нее можно принять 15 миль; но замечались метеоры, с одной стороны, и на высоте 60 миль, с другой стороны,— на высоте 1, 2 и 3 миль [161].

Скорость их движения, когда определяем ее, не обращая внимания на перемещение Земли, очень различна; наименьшая достигает, однакоже, до 25 верст в секунду, а наибольшая переходит за 160 верст. В недавнее время итальянский астроном Скьяпарелли рядом остроумных соображений, основанных на многочисленных наблюдениях, произведенных и собранных Кульвье-Гравье, Шмидтом, Кетле и др., дошел до заключения, что метеоры пролетают в тех пространствах, в которых с ними встречается Земля, со скоростью, средним числом в полтора

[1] Здесь и всюду далее — новый стиль.

раза большею скорости нашей планеты. Так как подобную скорость вблизи от Солнца имеют только кометы, то Скьяпарелли, а вслед за ним и другие, признают, что падающие звезды по происхождению своему чужды не только Земле и ее атмосфере, но и самой солнечной системе. Это же подтверждается и тем обстоятельством, что иные из них движутся в пространстве в том же направлении, как и Земля, другие же — в направлении противоположном. Такого рода движение и такая скорость суть свойства общие у метеоров с кометами [162].

Массы метеоров большей частью чрезвычайно малы, но в редких случаях достигают такой величины, что вес их доходит до нескольких пудов. Совершая свое движение в пространстве, метеорические массы могут так близко подходить к перемещающейся около Солнца Земле, что вступают в ее атмосферу. В этом случае от сопротивления воздуха и от трения в нем они раскаляются и горят. Приближение некоторых из них к Земле доходит до таких пределов, что они не в состоянии более продолжать свое независимое течение в пространстве, но падают на нашу планету и затем уже нераздельно с нею продолжают движение.

Подпадающие таким образом ближайшему рассмотрению человека метеоры, конечно, не остаются без подробных физических и химических исследований, и все подобные исследования приводят к замечательному результату: составные части этих пришлых из неведомых пространств тел существуют и на Земле, и элементы их встречаются даже в тех же сочетаниях и формах, в которых мы находим их в коре нашей планеты. По большей части состоят они из железа в металлической форме, смешанного с соединениями кремния; к этому железу примешан постоянно металл никель и иногда кобальт, медь, олово и хром. Из соединений кремния особенно част минерал оливин, который на Земле очень обыкновенен в вулканических каменных породах, а также аугит. Кроме того, в исследованных доселе метеорических массах найдены следующие земные элементы: кислород, водород, сера, фосфор, углерод, глиний, магний, кальций, натрий, калий, марганец, титан, свинец, литий и стронций [163].

Мы сказали выше, что свечение метеоров зависит от того, что они встречают сопротивление и трение, пролетая чрез атмосферу Земли. Для этого, конечно, требуется очень значительная скорость движения относительно Земли,— скорость, достаточная для того, чтобы и в отдаленных от поверхности Земли и, стало быть, очень редких слоях воздуха сопротивление было довольно сильно, чтобы вызвать высокую температуру. Но мы видели уже, что скорость метеоров действительно значительна, и понятно, что, пробегая в нашей атмосфере даже и по тысяче верст в минуту, средним же числом гораздо больше, метеорическая масса встретит и в редких слоях воздушной оболочки Земли достаточно сопротивления, чтобы нагреться, воспламениться и при этом расплавиться и даже, если масса очень мала, обратиться в пар.

Гайдингер предлагает подробное объяснение того, каким образом от быстрого движения в воздушном пространстве падающая звезда делается светящеюся. Пролетая через воздух, метеор сжимает его пред собою так сильно, что вызывает теплоту, соединенную со светом, напоминая то, что делается при быстром и сильном сжимании воздуха в воздушном огниве. Позади себя метеор, напротив того, оставляет более или менее значительное, смотря по скорости полета, пустое пространство. Сжатый впереди воздух разливается по всем направлениям, преимущественно же в пространство, только что оставленное метеором, охватывает образовавшуюся здесь пустоту и таким образом является наблюдателю в виде округлого огненного тела. Когда, по причине сопротивления воздуха, метеор потеряет свою скорость относительно Земли, то на мгновение он останавливается, чтобы пасть затем на поверхность нашей планеты; окружающий его огненный шар гаснет, и в поддерживавшуюся до того времени позади метеора пустоту устремляется окружающий воздух, отчего и происходит тот громовый выстрел, которым нередко сопровождается падение метеорических масс на Землю[164].

Уже то обстоятельство, что бóльшая часть метеоров гаснет прежде, чем приблизиться к поверхности Земли, указывает

на незначительность их масс; но из наблюдений над падающими звездами можно вывести приблизительную величину, средним числом представляющую вес метеоров. Александр Гершель предложил способ делать такие определения, основываясь на яркости света метеоров. Когда вычислено расстояние от нас падающей звезды и оценена ее видимая яркость, мы можем сравнить численно напряженность ее света с напряженностью света, производимого данным количеством светильного газа. Если допустим затем, что количество развивающегося при горении света, как для сказанного газа, так и для метеорического вещества, находится в одинаковом отношении к количеству производимой теплоты, то можно будет определить количество теплоты, развивающейся при горении метеора: это количество выражается очень просто с помощью скорости движения метеора и его массы. Итак, стоит из наблюдений вычислить скорость,— и легко определится искомая масса.

Гершель нашел таким путем, что падающие звезды, виденные им с 9 на 10 августа 1863 г. и имевшие яркость планет Венеры и Юпитера, обладали массой от 4 до 6 фунтов. Массы же метеоров, которые по блеску походили на неподвижные звезды 2—3-й величины, не достигали по весу и одной десятой доли лота. А так как бо́льшая часть падающих звезд блестит гораздо слабее звезд 2-й величины, то, следовательно, почти всё бесчисленное множество метеоров состоит из маленьких тел, средним числом достигающих по весу едва одной сотой доли лота [165]. У метеоров, которые достигли земной поверхности, не успев сгореть и обратиться в газы, масса, конечно, средним числом должна быть больше,— будет ли это отдельная большая глыба, как, например, упавшая близ Енисея и весящая около 42 пудов, или целая туча мелких кусков, которая при своем падении рассыпается иногда на пространстве нескольких десятков квадратных верст и содержит в себе тысячи отдельных камешков. Впрочем, есть вероятность думать, что и енисейская глыба, известная под именем Палласова железа, представляет собою скопление целого небольшого облака падающих звезд, из

которых каждая отдельно весит, быть может, лишь малую долю лота. В самом деле, внутри Палласова железа всюду рассеяны зерна оливина, величиной в горошину, и подобное строение встречается нередко между метеорическими железными массами. Так как невозможно представить себе, чтобы зерна оливина могли проникнуть в массу железа, когда она находилась в твердом и даже в жидком состоянии, то остается допустить, что зерна эти прежде, чем попали в пары железа, составляли метеорическое облако, каждая часть которого была, вероятно, отдельной падающей звездой; окруженные затем парами железа, они при охлаждении последних вошли в состав одной глыбы [166].

Выше мы разделили метеоры на рассеянные (спорадические) и кучевые (систематические). Есть известные времена в году, когда систематические падающие звезды проносятся мимо Земли действительно целыми кучами, роями. Особенно замечательны в этом отношении звездные рои в августе и ноябре. В определенные ночи этих месяцев, кроме метеоров спорадических, несчетное количество падающих звезд низвергается из определенных точек неба. Ночью 10 августа метеорический поток выходит из созвездия Персея, — почему и метеоры его называются Персеидами,— и известен был уже древним [167].

По замечанию Скьяпарелли, сделанному в 1863 г., Персеиды имели почти одинаковый вид, отличались от выходивших в эту ночь из других точек неба спорадических звезд своим желтым цветом и оставляли после себя на короткое время полоску света в виде хвоста. 12—13 ноября звезды сыплются как бы из созвездия Льва, почему и могут быть названы Леонидами. Рой Леонидов представлялся Гумбольту и Бонплану в 1799 г. совершенно огненным дождем; в 1833 г. он опять был видим в таком же блеске, так что Араго сравнивал падение звезд 12 ноября этого года с мельканием пред глазами снежных хлопьев. С подобной же силой этот поток появился и 14 ноября 1867 г. для наблюдателей в Америке.

Кроме этих главных роев систематически падающих звезд, можно насчитать еще около сотни других, которые появляются

в определенные дни года, причем явление повторяется для иных роев не каждый год, но через несколько лет. Из сказанной периодичности явления мы должны заключить, что Земля, перемещаясь в пространстве и совершая полный круг около Солнца в течение года, в различных точках своего пути встречается с различными роями маленьких тел, часть которых при каждой встрече проникает в атмосферу Земли и, загораясь в ней, как было объяснено выше, является нам в виде падающих звезд.

Не подвергая явления более строгому исследованию, можно подумать, что на различных точках земного пути в пространстве размещены неподвижно какие-то тучи мелких тел, чрез каждую из которых наша планета проходит однажды в год и притягивает к себе каждый раз из всякой тучи большее или меньшее количество метеоров. Но простых соображений достаточно, чтоб убедиться в несостоятельности такого объяснения, если бы оно соглашалось даже со всеми подробностями явления. В самом деле, материальные, то-есть подверженные силе притяжения, тела не могут быть размещены неподвижно около Солнца, иначе они упадут на него. Такие тела должны двигаться около Солнца в общих чертах подобно тем телам, которые мы называем планетами и кометами. Допустим, например, что каждое маленькое тело из того роя, который является нам в августе, то-есть каждый Персеид, описывает около Солнца эллипсис, подобный земному, но наклоненный под каким-нибудь углом к этому последнему. Допустим далее, что линия этого пути пересекается с линией земной орбиты в какой-нибудь точке и что пути всех остальных Персеидов подобны орбите этого одного и близки от нее. Тогда вся масса августовских метеоров будет представлять кольцеобразную тучу, так сказать, хоровод мелких тел, который Земля станет пронизывать раз в году, именно в том месте, где земной путь пересекается с этим кольцом. Если кольцеобразная туча не везде одинаково плотна, то-есть в одной части своей богаче мелкими телами, а в другой — беднее, то очень естественно, что в различные прохождения Земли чрез кольцо количество падающих звезд будет то больше, то меньше.

Так как кольцо вращается около Солнца, то наиболее густая часть его будет чрез определенный промежуток времени проходить чрез точку сечения кольца с земною орбитой, и сталобыть, этот период будет периодом наибольшего блеска явления падающих звезд. Так, например, при существовании подобного кольца в ноябрьской системе падающих звезд нужно допустить, что самая богатая веществом часть кольца подходит к земной орбите чрез каждые $33^1/_4$—$33^1/_2$ года, а следовательно, и все кольцо совершает полное обращение вокруг Солнца в течение этого же промежутка времени.

Приписывая такое строение сонму падающих звезд, — этому рою мелких планеток, и видоизменяя его в подробностях, можем легко вывести различные соображения о скоростях метеоров относительно Земли и о направлении их движения. Так, если кольцо падающих звезд обращается в том же направлении, как и наша планета, и плоскость его немного наклонена к плоскости земной орбиты, то скорость каждого метеора относительно Земли будет почти равна разности скоростей метеора и Земли. Если, например, метеоры перемещаются около Солнца со скоростью 6 миль в секунду, то их скорость относительно Земли будет равна 2 милям, потому что Земля пробегает в том же направлении в секунду 4 мили. При этом метеоры будут казаться выходящими из точки неба, которая лежит по тому направлению, откуда движется Земля во время наблюдения.

Если, при одинаковых прочих условиях, кольцо обращается в направлении, противоположном движению Земли, то при прежней скорости в 6 миль относительная скорость каждого метеора будет уже не 2, но 10 миль, и все они будут представляться исходящими из точки неба, лежащей по тому направлению, куда движется Земля во время наблюдения.

Одним словом, из положения различных колец метеоров относительно земной орбиты и из скоростей их обращения около Солнца можно вывести все разнообразие скоростей и направлений падающих звезд, равно как положения на небе точек их кажущегося выхождения, так называемых *точек радиации*.

Наоборот, по данным, выведенным из достаточно многочисленных наблюдений, можно сделать довольно приблизительные выводы о положении колец и их движении. Так, например, для роя Леонидов вычислено, что их пути вокруг Солнца наклонены к земному пути на угол около 18° и движение противоположно движению Земли, почему и называется обратным (направление движения в одну сторону с Землей принимается за прямое). Пути Леонидов пересекаются с земной орбитой в том месте, в котором Земля находится около 13 ноября, и полное обращение кольца должно совершаться, как и видели выше, в $33^1/_3$ года; откуда следует, что наибольший его поперечник равен десяти с лишком поперечникам земной орбиты.

Этих данных достаточно для приблизительно верного графического представления явления в общих чертах; но, кроме того, наблюдения над падающими Леонидами дают возможность сделать некоторые соображения о распределении метеоров в различных частях всего их кольца. В самом деле, количество падающих Леонидов далеко не одинаково в ноябре каждого года. Напротив того, один раз в течение $33^1/_3$ лет это количество громадно; за таким обильным падениями Леонидов годом следуют три года с меньшим, и притом от одного года к другому убывающим, количеством падений; наконец, в дальнейшие годы это количество совершенно незначительно. Из этого мы вправе заключить, без всякого сомнения, что метеоры роя Леонидов не распределены равномерно по всему протяжению кольца, но в одном его месте образуют густую кучу, удлиненную настолько, что она употребляет три года, чтобы протянуться чрез то место, в котором Земля встречает ее около 13 ноября. Видно, наконец, что передняя часть кучи гуще следующих за нею.

Кольцо августовских метеоров, Персеидов, расположено в пространстве несколько иначе: оно наклонено к земной орбите на угол 64°; движение его частиц также противоположно движению Земли, и полное их обращение около Солнца совершается более чем во сто лет, из чего следует, что наибольший поперечник этого эллиптического кольца равен пятидесяти

поперечникам земного пути. Персеиды распределены по протяжению всего своего кольца, хотя, впрочем, то гуще, то реже; от этого количество их падения в каждом году приблизительно одинаково.

Наблюдения над метеорами дают астрономам возможность еще подробнее и точнее представить положение их орбит относительно Солнца и земного пути, размеры орбит и все обстоятельства движения.

Данные, служащие для такого полного знакомства с орбитами как метеоров, так и других тел, движущихся около Солнца, станем обозначать для удобства какими-нибудь определенными терминами. Так, точку орбиты, ближайшую к Солнцу, назовем *перигелием*, а ту дугу, которая определяет положение этой точки на орбите, — *долготою перигелия*. Коль скоро для какой-нибудь планеты или кометы дана в числах такая дуга, то мы знаем, где помещается перигелий, и при некоторых других данных, с которыми тотчас познакомимся, можем указать *время*, когда планета или комета будет в самом близком расстоянии от Солнца. Путь каждого отдельного метеора, если он замкнут, пересекает плоскость земной орбиты в двух точках: в одной из них метеор при своем движении переходит из южного (относительно земной орбиты) полушария неба в северное, в другой — наоборот. Эти точки пересечения принято называть *узлами*, и первую из них — *узлом восходящим*, вторую — *нисходящим*. Такие точки будут вполне определены, когда дана дуга, на которую одна из них, например узел восходящий, отстоит от определенной точки неба, например от точки весеннего равноденствия. Подобная дуга называется *долготою восходящего узла*. Угол, на который плоскость орбиты метеора наклонена к плоскости орбиты земной, носит название *наклонения*. Наибольший поперечник орбиты можно назвать *большой осью*; если известна величина этой оси, то легко определить и время, которое употребляет метеор для совершения на своей орбите полного обращения около Солнца; время это называется *периодом обращения*.

Сказанное о пути одного метеора прилагается, конечно, и к целому их скоплению, и к целому их кольцу.

Исчисленные нами данные, определяющие вполне все обстоятельства движения какого-нибудь метеора, называются *элементами* его пути, и, повторяем, подобными же элементами представляются пути и планет, и комет. Каждое из таких тел имеет свои элементы, которыми характеризуется и отличается его путь от пути всякого другого тела солнечной системы, и если элементы, например, двух комет, виденных в различные времена, очень сходны (мы не говорим тождественны, потому что притяжение тел солнечной системы с течением времени изменяет несколько такие элементы, производит в них *возмущения*), то мы заключаем, что это — не различные кометы, но появления в разные времена одной и той же кометы.

Наблюдая тщательно падения Персеидов в 1866 г., Скьяпарелли вывел для них следующие числовые величины элементов:

Элементы Персеидов 1866 г.

Время прохождения через перигелий	Июля 23.6
Долгота перигелия	343°6
Долгота восходящего узла	138°3
Наклонение	64°1
Расстояние в перигелии	0.964
Движение обратное	

За единицу для выражения расстояния в перигелии принято среднее расстояние Солнца от Земли. Первый элемент относится к той части всей вереницы Персеидов, которая прошла чрез восходящий узел 10.8 августа и тут встретилась с Землею; другие части, само собою разумеется, проходят чрез восходящий узел и чрез перигелий соответственно в другие времена. Скьяпарелли старался также, хотя приблизительно, определить период обращения и нашел, что он превышает сто лет.

Это более точное знакомство с элементами Персеидов само по себе собственно не имеет еще большого интереса, но в высшей степени важно то обстоятельство, что Скьяпарелли, под влиянием

мысли о некоторых аналогиях между метеорами и кометами, задал себе вопрос: нет ли сходства в путях Персеидов с путем какой-нибудь из комет, элементы которых определены,— и вопрос этот разрешился положительно.

В самом деле, третья из появившихся в 1862 г. комет имеет следующие элементы:

Элементы кометы 1862 III

Время прохождения через перигелий . . . . . . 1862, августа	22.9
Долгота перигелия	344°.7
Долгота восходящего узла	137°.5
Наклонение	66°.4
Расстояние в перигелии	0.963
Движение обратное	

Период обращения около Солнца из наблюдений не выведен совершенно точно, но приблизительно можно принять, что он немного более ста лет.

Обе представленные выше группы элементов различаются между собою лишь такими величинами, которые вполне можно приписать той неточности, которая неизбежна в выводе элементов метеоров из наблюдений над их падениями. Таким образом, большая комета 1862 г. оказывается как бы одним из Персеидов.

Такой замечательный факт, обнаруженный Скьяпарелли и другими учеными, побудил к дальнейшей разработке вопроса о связи между кометами и падающими звездами. Скьяпарелли, Оппольцер, Петерс, Леверрье и др. способствовали уяснению того обстоятельства, что открытая в 1866 г. в Марсели комета (комета 1866 I) также родственна с метеорами ноябрьского роя, то-есть, Леонидами, как комета 1862 III — с Персеидами. Чтобы нагляднее убедиться в этой родственности, мы представляем элементы как Леонидов, так и кометы.

Элементы метеоров 13 ноября

Долгота перигелия	56°.4
Долгота восходящего узла	231°.5
Наклонение	17°.7

Расстояние в перигелии	0.987
Половина большой оси	10.340
Период обращения	33.25 года
Движение обратное	

Элементы кометы 1866 I

Долгота перигелия	60°.5
Долгота восходящего узла	231°.4
Наклонение	17°.3
Расстояние в перигелии	0.977
Половина большой оси	10.324
Период обращения	33.18 года
Движение обратное	

И тут заметим, что обе системы элементов отличаются одна от другой количествами, которые объясняются той неточностью, которая неизбежна при определении положения на небе точки радиации Леонидов.

Комета 1866 I встречает земную орбиту в конце сентября, и за ней, по одинаковому с нею пути, тянется вереница Леонидов, чрез которую и проходит Земля около 13 ноября.

Такая одинаковость путей, такое родство комет с роями падающих звезд приводит Скьяпарелли и других к заключению, что кометы 1862 III и 1866 I суть не что иное, как продолжающие еще существовать остатки тех комет, из которых в течение долгого времени выделялись и образовывались рои Персеидов и Леонидов. Из этого выходит, что рои метеоров суть не что иное, как кометы, и что одно и то же небесное тело является нам, смотря по времени и пространству, то как комета, то как скопление метеоров. Скьяпарелли следующим образом объясняет последовательное превращение комет в метеоры.

При движении кометы — этого тела, не имеющего плотного строения,— около Солнца части ее хвоста остаются мало-помалу позади ядра, которое, как ближайшее к Солнцу, имеет более быстрое движение. Таким образом, с течением времени комета постепенно, совершенно или отчасти, разрешается в вереницы метеоров, имеющие ту же форму и то же положение, как и путь кометы. Если путь кометы замкнут, то вместо нее

начинает обращаться около Солнца огромное кольцо мелких темных тел, которые, только попадая в нашу атмосферу, раскаляются и являются нам в виде падающих звезд. Заключено ли такое кольцо вполне, то-есть по всему ли пути первоначальной кометы рассеяны кучи метеоров или ими занята лишь известная часть кометной орбиты,— это только вопрос времени. При замкнутом пути кометы около Солнца ее вещество, в более или менее длинный ряд столетий, рассеется мало-помалу по всей орбите [168].

Припоминая теперь сказанное выше о Персеидах, мы должны заключить, что материя кометы 1862 III уже успела распространиться несколько равномерно по всему ее эллиптическому пути и образовала эллиптическое кольцо, длина которого по окружности превышает две тысячи миллионов географических миль. Так как падение метеоров в августе продолжается около шести часов, а Земля проходит в секунду 4 географические мили, то толщина кольца доходит до 864 000 географических миль[169]. Различие между головой кометы и обратившимся в кольцо метеоров хвостом ее для нас проявляется в том, что голова, состоящая еще доселе из более плотной метеорной массы, однажды в течение полного обращения подходит на ближайшее расстояние к Земле и Солнцу и начинает светить отраженным солнечным светом [170], меж тем как кольцо, состоящее из одиночно разбросанных метеоров, невидимо даже и тогда, когда Земля проходит через него ночью 10 августа. Тела, составляющие кольцо, тогда лишь становятся доступными глазу, когда вступят в атмосферу Земли и раскалятся в ней до степени свечения. Что касается до кометы 1866 I, то явления происшедших от нее Леонидов показывают, что она не рассыпала еще вещества равномерно по всему пути своему, но успела богато оделить им только приблизительно одну десятую часть орбиты и то далеко не равномерно. Одним словом, рой Леонидов имеет, повидимому, все признаки более позднего образования.

Аналогия заставляет допустить далее, что метеорические тела, подобно кометам, с которыми они так связаны, движутся

около Солнца не только по замкнутым эллиптическим путям, но и могут протягиваться мимо него по разомкнутым параболическим орбитам, как большинство известных нам комет. Такие скопления пронизывают солнечную систему по различным направлениям и в различные времена, и некоторые из них могут встречаться с Землею и отделять от себя падающие звезды.

При обнаруженном в известном отношении тождестве комет и метеорических звезд вопрос о появлении их в солнечной системе делается общим для тех и других. Соображения, выводимые для комет, прилагаются к объяснению происхождения метеоров, и до некоторой степени наоборот. Само собой разумеется, что в настоящее время уже не может быть и речи ни об атмосферном происхождении падающих звезд, ни о гипотезах Ольберса и Лапласа, в которых метеоры принимаются за извержения Луны[171]. Равно нельзя признать их за такие члены солнечной системы, которые получили в ней свое начало и в ней пребывали при всех переворотах, которые привели планетный мир к его настоящей форме.

Кометные массы в своих путях не подчиняются тому закону, который замечается в планетных орбитах. Эти последние все мало наклонены одна к другой, мало разнятся от кругов, и движение по ним совершается в одном направлении, именно в том, в каком вращается Солнце. Эти общие свойства и привели, как известно, к гипотезе о последовательном выделении тел солнечной системы из одной первоначально парообразной массы[172].

Пути комет пересекают планетные орбиты под всевозможными углами, так что половина их описывается движением обратным. Но главное их различие от планетных орбит состоит в том, что почти все кометы, — за немногими исключениями, причины которых можно отыскать в планетных возмущениях,— движутся по чрезвычайно растянутым эллипсисам, которые могут быть даже приняты за параболы[173]. Другими словами, бо́льшая часть пути каждой кометы лежит за пределами солнечной системы и тянется в далекие звездные пространства.

Это указывает на то, что кометы не принадлежали солнечной системе в эпоху ее возникновения, и заставляет предполагать, что уже после образования этой системы они подверглись влиянию ее центрального тела, Солнца, и вступили в его область. Прибавим к этому, что самые тела комет резко отличаются от планетных масс чрезвычайно слабой взаимной связью своих частей, своей разреженностью и прозрачностью.

Со времени Канта в философском сознании утвердилась мысль о происхождении всех тел, населяющих пространство мира, из разлитого повсюду, некогда бесформенного пластического вещества, которому обыкновенно дается название *космической материи*. Различие небесных тел и их систем главным образом зависит, быть может, от различия способов выделения их из этого вещества[174]. Известно, какой способ образования солнечной и звездной систем принимают Кант, Ламберт и Лаплас. Этот последний, находя невозможным согласить пути комет с построенным им развитием солнечной системы, рассматривает кометы как небольшие туманные массы, блуждающие от одной солнечной системы к другой и происшедшие от сгущения в избытке разлитой в пространствах туманной материи. Их отношение к солнечной системе он объясняет тем обстоятельством, что как скоро комета достигает той части пространства, в которой преобладает притяжение Солнца, то подчиняется этому последнему и описывает около него эллиптический, параболический или гиперболический путь.

По этому объяснению кометы могут иметь как прямое, так и обратное движение и пересекать своими путями планетные орбиты под всевозможными углами

Позже Лапласа — Ламон, Литтров, Ф. Вейсс и другие делали попытки доказать, что кометы суть исконные члены солнечной системы, но все такие попытки в настоящее время уступают место мнению о внепланетном образовании комет

Скьяпарелли не ограничивается одними общими соображениями Лапласа, но старается подробно проследить тот путь, каким вещество комет и метеоров вступает в нашу солнечную

систему. Соображения его так интересны, что мы ознакомимся с ними несколько ближе.

Вещество, рассеянное в небесных пространствах, представляет всевозможные степени разделенности. Первое место занимают главные звезды, одинокие или соединенные в системы. Затем идут богатые скопления мелких звезд (*звездная пыль* Гершеля), на которые многие туманные пятна разлагаются сильными телескопами. Последнюю ступень составляет космическая материя, которая не сгустилась еще в небесные тела в собственном смысле. Она является в виде космических туманных облаков, строение которых еще чрезвычайно неплотно, так что частицы их очень раздвинуты одна от другой, почему и самые облака имеют громадные размеры и могут занимать значительную часть звездных пространств. Одни из них приняли уже сколько-нибудь правильную форму, другие — нет.

Посмотрим теперь, каким образом космическое облако может проникнуть внутрь солнечной системы.

В новейшее время доказано, что ни Солнце со своей системой, ни так называемые неподвижные звезды не пребывают неподвижными в пространстве, но перемещаются в нем по различным направлениям и с различными скоростями; подобных движений не чужды также и массы космических облаков. При этих перемещениях какая-нибудь из таких масс может занять положение, при котором притяжение на нее нашего Солнца, несмотря даже на его громадное расстояние, преобладает над притяжением других солнц, то-есть неподвижных звезд. Таким образом, нашему ближайшему рассмотрению подлежит теперь движущаяся в пространстве масса, притягиваемая движущимся же Солнцем. Ясно, что результат при этом будет тот же самый, как если бы Солнце было неподвижно, а притягиваемая масса двигалась не с той скоростью, с какой она действительно перемещается в пространстве, но со скоростью, которую она имеет *относительно* движущегося Солнца. Эта относительная скорость может быть очень различна для различных космических облаков, вступающих в сферу притяжения Солнца, но мы остановимся на том

случае, который имеет для нас более значения, именно, когда относительное движение чрезвычайно мало, то-есть когда и Солнце и далекое туманное облако перемещаются приблизительно по параллельным направлениям с неприметно разнящимися между собой скоростями. Для большей ясности вообразим сначала, что мы имеем дело не с целым облаком, но с небольшой его частицей.

Устремляясь к Солнцу с большей и большей силой, по мере приближения к нему, такая частица в то же время не падает прямо на Солнце, потому что первоначальная относительная скорость отклоняет ее от движения к Солнцу по прямой линии; но так как эту скорость мы положили очень малой, то частица опишет около Солнца чрезвычайно удлиненный эллипсис, почти параболу, которого ближайшая к Солнцу точка будет, сравнительно с размерами всей орбиты, очень недалека от этого светила, то-есть может поместиться на таком расстоянии, при котором кометы становятся доступными нашему глазу. Появившись вблизи от Солнца, частица затем опять удалится от него на огромное время и на громадное расстояние по такому же точно пути, какой описала во время приближения, то-есть по другой половине эллипсиса. Путь будет так растянут, что близкие к Солнцу части его, на которых мы только и можем видеть движущееся около Солнца тело, представятся нам дугой разомкнутой кривой — параболы.

Чтобы представить себе все это нагляднее, вообразим, что рассматриваемая материальная частица отстоит от Солнца в 20 000 раз дальше Земли,— расстояние которой от Солнца равно почти 20 миллионам географических миль,— и пусть она движется перпендикулярно к прямой, идущей от нее к Солнцу, с относительной скоростью 100 метров в минуту, то-есть в 20 000 раз медленнее Земли. При этих условиях частица опишет эллипсис, перигелий которого будет отстоять от Солнца всего на 10 миллионов миль, то-есть частица в этой точке будет к Солнцу вдвое ближе Земли, между тем как отдаленнейшая точка орбиты, афелий, в 20 000 раз далее от

Солнца, чем Земля. Ясно, что часть этого растянутого пути внутри солнечной системы будет немного отличаться от параболы.

Допустим теперь, что вместо одной материальной частицы пред нами целое пространное космическое облако, то-есть скопление вещественных частиц, имеющее в целом округлую или иную какую-нибудь форму. По разделенности частиц такого облака можно оставить без внимания взаимное их действие одной на другую и рассматривать каждую из них как самостоятельную материальную точку, подверженную притяжению одного только Солнца. Если в отдаленных пространствах частицы облака двигались по одному направлению и с одной скоростью, например 100 метров в минуту, то каждая из них опишет точно такой эллипсис, как тот, о котором говорили выше, и в каждый момент времени относительное расположение частиц и их расстояние, а следовательно, и общая фигура всего облака, будут условливаться положением в этот момент каждой отдельной частицы на ее эллипсисе. Легко догадаться, представив себе мысленно целую массу таких эллипсисов, что вообще форма облака должна непрерывно изменяться с приближением его к Солнцу. Рядом очень простых, но остроумных соображений и геометрических построений Скьяпарелли приходит к тому заключению, что первоначально шарообразное, например, облако с приближением к Солнцу более и более теряет форму шара и становится удлиненной, параболически изогнутой фигурой. Передняя по направлению движения часть этой фигуры, направленная к Солнцу, более и более сгущается, меж тем как задний конец отчасти удерживает первоначальную разреженность. Вблизи от Солнца преобразование туманного облака совершается быстрее и резче: освещенная Солнцем передняя часть является нам в виде кометной головы с более плотным ядром; от нее тянется удлиненный, расширенный, отвращенный от Солнца и изогнутый хвост.

Чтобы представить пример, в какой мере космическое облако вблизи перигелия способно из шаровидной формы перейти

в удлиненную, можно приблизительным вычислением показать, что длина такой фигуры, при вышеупомянутых размерах эллипсиса, будет с лишком в 500 раз больше диаметра первоначального шара. Если этот первоначальный шар равен по величине Солнцу, то образовавшаяся из него, удлиненная, движущаяся около Солнца фигура будет простираться в длину на 25 миллионов миль. Густота вещества, то-есть плотность, в перигелии будет в миллион раз больше плотности первоначального шара[175].

На основании этих соображений можно составить себе некоторое понятие о степени разреженности вещества в космическом облаке.

Из всех метеорических скоплений, встречаемых в настоящие времена Землею на ее пути, самое богатое и постоянное есть, повидимому, скопление Персеидов, которых привычный наблюдатель может насчитать в час до 200 и более.

Положим, что наблюдатель, следящий только за четвертью видимого небесного полушария, насчитывает средним числом в час ровно 200 падающих звезд, то-есть что на всем полушарии он насчитал бы их 800. Чтобы принять в соображение и телескопические падающие звезды, огромность числа которых уравновешивается их ничтожной массой, увеличим это число до 1200, причем для каждой минуты получим круглое число 20 падающих звезд. Но мы говорили уже, что каждая падающая звезда средним числом весит около сотой доли лота, а потому в августовском потоке на одну минуту приходится одна пятая доля лота. Допустим затем, что пространство, занимаемое видимым горизонтом местности, ограничено на Земле кругом, радиус которого равен 15 географическим милям, и за пределами этого пространства падающие звезды уже не доступны глазу наблюдателя. Наконец, предположим, что средняя относительная скорость метеорического потока равна скорости Земли, что составляет в минуту около 240 миль. Если звезды сыплются из надглавной точки неба, то 20 падающих каждую

минуту звезд заключаются внутри прямого цилиндра с радиусом основания в 15 миль при высоте в 240 миль. Из этого легко вывести, что каждая звезда при встрече потока с Землей должна занимать в нем пространство, равное по величине объему сферы с радиусом в $12^1/_2$ миль, а следовательно, диаметр сферы, равный 25 милям, будет средним расстоянием между падающими звездами, и при сделанных нами допущениях на каждую из таких сфер придется по одной сотой лота вещества. Такова разреженность материи вблизи Солнца; в тех же отдаленных пространствах, из которых появилось космическое облако, давшее начало и комете, и скоплению метеоров, облако это было в миллион раз беднее веществом, то-есть в нем одна сотая лота вещества приходилась на пространство, по объему равное сфере с радиусом с лишком в 1200 географических миль, или в восемь с половиной тысяч верст [176].

Итак, из шарового первоначально облака, или туманного пятна, которое витало в отдаленнейших звездных пространствах нашей солнечной системы, произошла комета. Это новообразовавшееся небесное тело либо только раз пройдет через солнечную систему, если первоначальное отдаление, относительная скорость и ее направление для космического облака были таковы, что оно принуждено было описать около Солнца параболу или гиперболу, либо остаться в нашей системе, описывая около Солнца замкнутые кривые — эллипсисы. Нечего говорить, что орбиты комет при таком образовании этих тел могут иметь всевозможные наклонения к планетным орбитам и обратное движение их возможно точно так же, как и прямое. Если на своем первоначальном пути комета проходит очень близко от какой-нибудь большой планеты, например Юпитера, то притягательное действие этой последней может изменить разомкнутый или очень растянутый сомкнутый путь ее в путь, более сходный с орбитами планет, то-есть в эллипсис, который не так безмерно растянут. Так, например, комета 1866 I, образовавшая, по всей вероятности, скопление метеоров, падающих 12—14 ноября, по соображениям Леверрье, вступила в виде космиче

ского облака из далеких пространств в солнечную систему в 126 году по р. х. и на своем пути так близко прошла около планеты Урана, что эта последняя заставила ее, вместо параболы или очень растянутого эллипсиса, описывать такой эллипсис, на котором она совершает полное обращение около Солнца всего в 33 с небольшим года. Это преобразованное в комету облако со времени своего вступления в солнечную систему до наших дней совершило уже 52 обращения, хотя о ней и не имелось никаких сведений до 1866 г., когда она была открыта Темплем в Марсели. Каждые 33 года Земля в ноябре встречает выделенные кометой и следующие за ней на протяжении 380 миллионов миль мелкие тела.

Путь этой кометы гораздо меньше пути кометы августовских метеоров: в отдаленных от Солнца частях своих он достигает до орбиты Урана, а в ближайших — подходит к Солнцу на такое же расстояние, как наша планета.

После обнаружения поразительно тесной связи наиболее заметных явлений метеоров августа и ноября с кометами весьма естественным стало стремление ученых указать те кометы, которые стоят в подобном же отношении к группам метеоров, которые и в другие месяцы года условливают,— хотя менее блестящие,— явления систематических падающих звезд.

Галле находит соотношение между группой метеоров, являющихся каждые 20—24 апреля, и кометой 1861 I. В самом деле, имея в виду невысокую степень точности, с которой можно определить из наблюдений орбиты метеоров, можно считать достаточно согласными орбиты, определяемые следующими элементами:

Элементы кометы 1861 I

Долгота перигелия	243°
Долгота восходящего узла	30°
Наклонение	80°
Расстояние в перигелии	0.920
Половина большой оси	55.7
Движение прямое	

Элементы орбит апрельских метеоров

Долгота перигелия	236°
Долгота восходящего узла	30°
Наклонение	89°
Расстояние в перигелии	0.955
Половина большой оси	55.7
Движение прямое	

Метеоры, падающие 6 и 7 декабря,— без повторения явления каждый год,— по мнению д'Арре, имеют соотношение с периодической кометой, носящей имя Биела, которая совершает полное обращение около Солнца с небольшим в 6 лет [177].

Если комета движется около Солнца, или по разомкнутому пути, или по очень растянутому эллипсису, то и тут, как мы заметили уже выше, она может оставлять на своей орбите более или менее длинное скопление мелких тел, которые при встрече с Землей произведут если не периодическое в течение некоторого времени, то по крайней мере единовременное явление метеоров.

Заметим, наконец, что Земля, проходя через скопления, как существующие уже в форме колец около Солнца, так и проносящиеся чрез нашу систему в виде мимолетных роев, не может не действовать каждый раз своим притяжением на большее или меньшее число отдельных метеоров. Она выводит их из пути, сходного с путем всего скопления, и заставляет двигаться по другим, одиночным, орбитам. Эти-то однажды рассеянные в пространстве метеоры при последующих встречах с Землей являются в виде спорадических падающих звезд, которые почти каждую ночь в небольшом количестве промелькивают по небу то здесь, то там [178].

Из всего изложенного выше мы видим, как в последние годы науке удалось найти связь между явлениями, повидимому, самыми разнородными: падающие звезды, аэролиты, находимые по временам на Земле, кометы и загадочные туманные пятна оказываются одного происхождения [179].

Космическая материя, еще находящаяся в процессе образования, вступая в нашу систему, с одной стороны, отделяет от себя аэролитные массы, которые мы можем подвергать химическому анализу в наших лабораториях; с другой стороны, проходя около Солнца в виде комет, развивает перед нашими глазами целый ряд еще далеко не вполне исследованных явлений кометных хвостов, которые, служа как бы чувствительными реактивами, мало-помалу дадут нам возможность проникнуть в тайну сил, действующих в нашей системе и исходящих преимущественно из центрального источника света и теплоты.

Ф. Бредихин

ПРИЛОЖЕНИЯ



А. Д. Дубяго

ЖИЗНЬ И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ Ф. А. БРЕДИХИНА

На русской астрономии второй половины XIX века лежит неизгладимый отпечаток деятельности Ф. А. Бредихина. Это отчетливо сознавали уже его современники, видевшие в нем крупнейшего русского астронома, проложившего новые пути в науке. Многочисленные блестящие и глубокие научные труды создали Ф. А. Бредихину славу при жизни; обаяние и авторитет его личности привлекли к нему школу талантливых учеников. Его самоотверженная борьба за расширение круга деятельности отечественных обсерваторий, за пополнение их молодыми кадрами и инструментальным оборудованием расчистила дорогу для широкого развития астрономии в России и особенно для развития астрофизики. Начатое им дело получило полное осуществление после Великой Октябрьской социалистической революции.

Ученики Бредихина, позже ставшие его друзьями,— Цераский, Белопольский, Штернберг, Костинский, если ограничиться только этими именами,— оставили нам подробные и трогательные воспоминания о нем, написанные под свежим впечатлением смерти Бредихина в 1904 г. Отмечая важнейшие события его жизни, они единодушно оценивали значение его огромных заслуг как творца теории кометных форм и теории происхождения метеоров и периодических комет, как директора Московской и Пулковской обсерваторий, вдохнувшего новую жизнь

в эти учреждения, как деятеля-патриота, делавшего больше, чем кто-либо другой, для искоренения в русской астрономии преклонения перед иностранной наукой. В этих воспоминаниях ярко и с различных сторон отражены черты облика Бредихина в зрелом возрасте, и к ним неизбежно будет обращаться каждый будущий биограф. Однако для первой половины жизни Ф. А. Бредихина таких данных нет, и мы располагаем почти только хронологическим перечнем событий; между тем именно тогда определялись научные интересы и вырабатывался характер одного из замечательных русских ученых. Наиболее подробным жизнеописанием Бредихина мы обязаны С. К. Костинскому, который стоял ближе других к своему учителю в последний период его жизни[1]. Можно думать, что еще немало интересных сведений о Бредихине хранится в архивных материалах, до сих пор широко не использованных.

Федор Александрович Бредихин родился 26 ноября (8 декабря н. ст.) 1831 г.[2] в г. Николаеве. Он принадлежал к старинной русской семье, упоминание о которой восходит к началу XVII века, если не ранее. Прадед его Сергей Александрович Бредихин и дед Федор Сергеевич служили в гвардии. Дед его, выйдя в отставку, переселился в 1797 г. в Новороссию, в Херсонский уезд, где женился на дочери атамана запорожского войска Сидора Белого, убитого в войне с турками под Кинбур-

[1] С. К. **Костинский.** Федор Александрович Бредихин. Русский астрономический календарь на 1905 год, Н.-Новгород, 1904, стр. 2—29, отдельная пагинация.

[2] В дальнейшем даты приводятся по старому стилю, если не оговорено обратное. Приведенная дата рождения принята всеми биографами, и ее указывал сам Бредихин. Однако в метрическом свидетельстве его, хранящемся в Архиве Академии Наук СССР, указана другая дата рождения— 1 декабря 1831 г. (Архив АН СССР, фонд. 705, оп. 1, № 6, л. 5). Подлинность этого свидетельства не вызывает сомнений, поэтому остается допустить, что запись в метрической книге Николаевского Адмиралтейского собора, сделанная 12 декабря 1831 г., содержит искаженную (по неясным для нас причинам) дату рождения Ф. А. Бредихина.

ном. Отец Ф. А. Бредихина, Александр Федорович, был офицером Черноморского флота, участвовал во время русско-турецкой войны 1827—1829 гг. во взятии крепостей Тульчи и Силистрии, был за это награжден и вскоре по окончании войны вышел в отставку в чине капитан-лейтенанта.

Мать Ф. А. Бредихина, Антонина Ивановна, была сестрой адмирала Рогули, ставшего потом вторым комендантом Севастополя во время его героической обороны в 1854—1855 гг. Как сообщает П. К. Штернберг, почти все дяди Ф. А. Бредихина, по отцу и по матери, были моряками.

Детство будущего прославленного астронома протекало в Солонихе, степном имении его отца, недалеко от Херсона. Воспитанием мальчика руководил опытный педагог, бывший директор Херсонской гимназии З. С. Соколовский; он сумел вызвать в своем ученике любовь к науке, особенно же к естественным наукам и математике. Вероятно, уже тогда у Ф. А. Бредихина выработался его прямой характер и умение не отступать перед трудностями. Примером ему могли служить старшие члены его семьи — моряки.

Только достигнув четырнадцатилетнего возраста, Бредихин поступил в закрытый пансион при Ришельевском лицее в Одессе. Получив в пансионе среднее образование, он стал в 1849 г. студентом лицея, в котором тогда преподавались и физико-математические науки. Значительно позднее Ришельевский лицей был преобразован в Новороссийский университет, но в ту глухую пору он не мог удовлетворить стремлениям Бредихина, который, проучившись в лицее два года, перешел в 1851 г. на первый курс старейшего в России Московского университета.

Юные годы Ф. А. Бредихина приходятся на эпоху мрачной реакции в царствование Николая I. Ф. А. Бредихин впоследствии осуждал господствовавшие тогда суровые и жестокие методы воспитания молодого поколения, но он отмечал, несмотря на это, развитие в русской молодежи чувства гражданского долга. Нельзя забывать, что в Московском университете в мер-

твящей обстановке николаевского времени учились Белинский и Герцен, что там зародились их революционные убеждения, страстная ненависть к крепостническому режиму. Но и позже из стен Московского университета вышло немало деятелей, сохранивших верность заветам революционных демократов, а передовые московские ученые поддерживали в науке материалистическую традицию, идущую от Ломоносова, стремились поставить науку на службу народу. Мы увидим, что одним из таких наиболее ярких и выдающихся представителей московского ученого мира стал в свое время сам Ф. А. Бредихин.

Переехав в Москву, Ф. А. Бредихин постепенно сроднился с ней, полюбил ее и прожил в ней 39 лет. В первые годы пребывания в университете он увлекался физикой; но сначала научная деятельность его не очень манила, так как он собирался по окончании курса поступить на армейскую службу или стать моряком, как отец. Однако, несомненно, ранний интерес к физике способствовал тому, что Ф. А. Бредихин впоследствии обратил особое внимание на только что нарождавшуюся новую отрасль науки — астрофизику. Серьезно заниматься астрономией Ф. А. Бредихин начал лишь на последнем, четвертом курсе, когда он был приглашен заведующим Московской обсерваторией А. Н. Драшусовым принять участие в работах обсерватории.

Здесь уместно небольшое отступление. Основателем Московской обсерватории был известный русский астроном, впоследствии академик, Д. М. Перевощиков (1788—1880). Постройка первого, очень скромного, здания обсерватории, начатая, повидимому, в 1830 г., была закончена в 1831 г. Оборудование первоначально было самое бедное; постепенно оно пополнялось усилиями проф. Д. М. Перевощикова, и к 1834 г. обсерватория обладала необходимыми инструментами [1]. Впрочем, наблюде-

[1] Сведения об истории и деятельности Московской обсерватории заимствованы нами преимущественно из подробного сочинения С. Н. Блажко «История астрономической обсерватории Московского университета

ний делалось на ней немного, может быть, потому, что сам Д. М. Перевощиков, как теоретик, не чувствовал к ним склонности. Так обстояло дело до тех пор, пока в 1843 г. не возник вопрос о значительном расширении обсерватории, что было поручено молодому астроному А. Н. Драшусову. А. Н. Драшусов (1816—1890) окончил в 1833 г. Московский университет и в конце 30-х годов совершил длительное путешествие за границу для усовершенствования в астрономии. Там он слушал некоторые курсы лекций, но главным образом подробно знакомился с астрономическими обсерваториями и их работами. А. Н. Драшусов вернулся в Москву в 1840 г. и с 1844 г. принял участие в преподавании, состоя исполняющим обязанности адъюнкта. Новое здание обсерватории было выстроено в 1846—1847 гг. и оборудовано крупными меридианными инструментами, незадолго до того приобретенными. Большой ($10^1/_2$-дюймовый) рефрактор, тоже заказанный А. Н. Драшусовым, был установлен на обсерватории уже после его ухода из университета (Б. Я. Швейцером в 1859 г., при деятельном участии Ф. А. Бредихина и М. Ф. Хандрикова). Наблюдения на новой обсерватории были начаты А. Н. Драшусовым в 1851 г., после того, как был установлен меридианный круг. Д. М. Перевощикова уже не было в Москве, когда Ф. А. Бредихин начал работать на обсерватории, а А. Н. Драшусов неожиданно ушел в отставку в том самом 1855 г., в котором Ф. А. Бредихин окончил Московский университет.

По окончании курса Ф. А. Бредихин был оставлен при университете и начал готовиться к магистерскому экзамену. Он в то же время продолжал работать на обсерватории, впрочем, вероятно, с перерывом, так как обсерватория после ухода А. Н. Драшусова была опечатана с ноября 1855 г. по август 1856 г., пока не было окончательно решено, что ею будет заведовать Б. Я. Швейцер. Новый директор обсерватории

в связи с преподаванием астрономии в университете». Ученые записки Московского гос. университета, юбилейная серия, вып. 58, Астрономия, 1940, стр. 3—106.

Б. Я. Швейцер (1816—1873), до того астроном Константиновского межевого института, ранее учился у Бесселя и работал в Пулковской обсерватории; он был, по выражению Цераского, «отличный практик, педант, рутинер и не мягок характером». Несколько лет подряд Ф. А. Бредихин и Б. Я. Швейцер работали на Московской обсерватории только вдвоем. В 1857 г. Ф. А. Бредихин сдал магистерский экзамен и был назначен исполняющим обязанности адъюнкта по кафедре астрономии, а к чтению лекций по так называемому предварительному курсу астрономии он приступил с осени 1858 г. Что касается Б. Я. Швейцера, то он плохо говорил по-русски и лекций читать почти не мог; он занимался со студентами только практической астрономией.

В 1859 г. Ф. А. Бредихин переехал на обсерваторию и начал наблюдать на меридианном круге, продолжая предпринятую Б. Я. Швейцером работу по определению положений звезд до 8-й величины к северу от небесного экватора. Такие наблюдения он продолжал до 1863 г.; точность его наблюдений оказалась высокой [1]; Ф. А. Бредихин, несомненно, приобрел прекрасные астрометрические навыки, тем не менее астрометрия не стала его призванием. Одновременно с Ф. А. Бредихиным и позже эти наблюдения вел М. Ф. Хандриков (1837—1915), окончивший Московский университет в 1858 г.

В 1860 г. Ф. А. Бредихин женился на Анне Дмитриевне Бологовской, «которая,— пишет П. К. Штернберг,— вся себя посвятила на заботу о любимом человеке. Она была всегда его утешительницей во всех его разочарованиях, неприятностях, охраняла его покой и с чисто материнским чувством заботилась об его удобствах»[2].

---

[1] Отчет за время с 1 сентября 1892 г. по 1 сентября 1893 г., представленный Комитету Николаевской главной астрономической обсерватории ее директором, 1893, стр. 40.

[2] П. К. Штернберг. Памяти Феодора Александровича Бредихина. Bulletin de la Société des Natur. de Moscou, Année, 1904, nouv. série, vol. XVIII, 1905, pp. 33—47.

В 1862 г. Ф. А. Бредихин защитил в Московском университете магистерскую диссертацию «О хвостах комет». Перед этим появились в «Astronomische Nachrichten» его первые научные работы: «Quelques mots sur les queues des comètes» и «Sur la direction des queues des comètes de 1844, III et de 1853, III». В 1863 г. он стал экстраординарным профессором; в этом же году он напечатал статью «Возмущения комет, происходящие от сопротивления эфира». В 1864 г. была опубликована его работа «Возмущения комет, не зависящие от планетных притяжений», явившаяся его докторской диссертацией. Степени доктора Ф. А. Бредихин был удостоен в январе 1865 г., после чего был назначен ординарным профессором.

Так сразу определилось главное направление самостоятельной научной деятельности Ф. А. Бредихина: изучение комет и происходящих в них физических процессов, и он вступил на тот творческий путь, который впоследствии привел его к всемирной известности. Не трудно увидеть причину, вызвавшую у Бредихина интерес именно к этой области астрономии, но для этого необходимо вернуться несколько назад.

Пока А. Н. Драшусов перестраивал Московскую обсерваторию, астрономические наблюдения в Москве не прекращались. Б. Я. Швейцер, любивший наблюдать, занялся, за отсутствием других возможностей, поисками комет, увенчавшимися блестящим успехом: всего им было найдено с 1847 г. 11 новых комет, из числа которых четыре кометы — 1847 IV, 1849 III, 1853 II, 1855 I — были открыты Б. Я. Швейцером ранее других наблюдателей и получили его имя. Последние кометы были им открыты уже в студенческие годы Бредихина. «Всякое открытие,— говорит В. К. Цераский,— производит всегда значительное впечатление, особенно на непосредственных участников или свидетелей, и я полагаю, что именно эти открытия

Б. Я. Швейцера навели Бредихина на ту область науки, где он впоследствии пожал такие обильные плоды»[1]. Добавим, что эти годы были вообще богаты блестящими кометами: Ф. А. Бредихин наблюдал затем знаменитую комету 1858 VI Донати, яркие кометы 1861 II и 1862 III. Вскоре последовали необычайные метеорные дожди Леонид — в 1866 и 1867 гг., и была открыта связь между кометами и падающими звездами.

И магистерская и докторская диссертации Бредихина являются произведениями ученого с выдающимися дарованиями и эрудицией. В докторской диссертации, как и в статье, ей предшествующей и упомянутой выше, он исследовал мало разработанную проблему небесной механики — о возмущениях комет, не зависящих от действия планет, и показал себя хорошим математиком. Однако в дальнейшем Ф. А. Бредихин отошел от подобных вопросов и не возвращался к ним, вероятно, потому, что в этой области астрономии трудно найти возможность для сравнения теории с наблюдениями, к чему он всегда стремился. Только много лет спустя он занялся отысканием возмущений комет, но уже в классическом понимании, в связи с вопросом о происхождении метеорных потоков. В магистерской же диссертации, хотя она и не во всем оригинальна, видны зачатки многих позднейших исследований Бредихина о кометных формах; прежде чем коснуться ее содержания, скажем несколько слов о сущности и истории рассматриваемой в ней проблемы.

Кометы наблюдались с древнейших времен. Дошедшие до нас упоминания о их появлениях восходят в китайских летописях к XXIV веку до н. э.; правда, для столь отдаленного прошлого сведения ненадежны. Внезапное появление комет на небе, их быстрое движение, порой большая яркость и огром-

[1] В. К. Цераский. Федор Александрович Бредихин. Отчет имп. Московского университета и речь к 12 января 1905 г., М., 1905, стр. 472.

ные хвосты привлекали к себе всеобщее внимание и часто вызывали ужас. До конца средних веков, и даже позже, кометы считались предвестницами всяческих бедствий. В науке долго господствовало мнение Аристотеля, что кометы принадлежат к числу явлений земной атмосферы и не могут быть небесными светилами, так как последним, по воззрениям древних, свойственны неизменность, вечное существование и равномерные круговые движения, чего кометы лишены. В противоположность тому Сенека еще в I веке н. э. учил, что кометы — настоящие небесные тела. Подтверждено это было много позже Региомонтаном и Тихо Браге путем определения суточного параллакса комет 1472 и 1577 гг. Тот же Сенека заметил, что «волосы [хвосты комет] бегут от солнечных лучей». Аналогичное указание имеется в византийских записях о комете 837 г., а знаменитый китайский ученый, энциклопедист Ма Туан-Лин, живший в XIII—XIV вв., из наблюдений этой же самой кометы вывел определенное правило: «У кометы, которая находится к востоку от Солнца, хвост по отношению к голове направлен тоже к востоку; если комета является на западе от Солнца, то и хвост направлен к западу». Такое расположение кометных хвостов не скрылось и от наблюдательности русских летописцев. Затем у кометы 1556 г. было обнаружено более точными наблюдениями, что ее хвост направлен не строго противоположно Солнцу, но с небольшим отклонением. Кеплер считал, что вещество кометных хвостов отталкивается какой-то силой, исходящей от Солнца.

Великий русский ученый М. В. Ломоносов первый исследовал физическую природу кометных хвостов. Для него представлялось несомненным их сродство с северным сиянием, и причину этих явлений он полагал в электрической силе.

Еще Ньютон рассматривал в самых общих чертах механическое движение частиц кометных хвостов. Дальнейшее развитие этого вопроса относится к XIX веку. Ольберс в 1812 г. указал, что вещество кометы не только отталкивается Солнцем,

но и выбрасывается из ядра с заметной скоростью, а Брандес установил, что ось хвоста кометы лежит в плоскости кометной орбиты, сам же хвост искривлен и отклонен от радиуса-вектора кометы в сторону, обратную ее движению по орбите (1826). Бессель в 1836 г. поставил вопрос об определении вида и положения хвоста кометы по данному закону действия и величине отталкивательной силы Солнца, и наоборот. Допуская, как и Ольберс, что отталкивание действует обратно пропорционально квадратам расстояния кометы от Солнца, он нашел для кометы Галлея, что величина отталкивательной силы почти в 2 раза превосходит притяжение Солнца на том же расстоянии. Скорость истечения вещества из ядра кометы оказалась равной почти одному километру в секунду. Бессель дал формулы для вычисления движения частиц хвоста, но лишь приближенные, основанные на разложениях в ряды по степеням времени. Впоследствии Ф. А. Бредихин обнаружил недостаточную точность этих формул и заменил их строгими выражениями. По указанной причине численные результаты Бесселя не заслуживают доверия. Физическое объяснение отталкивательной силы у Бесселя очень сложно и неубедительно.

После появления блестящей кометы 1858 VI Донати немецкие астрономы Папе и Виннеке применили теорию Бесселя к хвосту этой кометы, но без существенного успеха.

В своей магистерской диссертации «О хвостах комет» Ф. А. Бредихин дал превосходное описание явлений, представляемых кометами, изложил историю вопроса о кометных хвостах и критически пересмотрел теорию Бесселя и работы Виннеке и Папе. Ф. А. Бредихин исправил погрешности, вкравшиеся в формулы Бесселя, и вывел собственные формулы для обобщенного закона действия отталкивательной силы Солнца (обратно пропорционально произвольной степени расстояния от Солнца). Он исследовал колебания веерообразного истечения из ядра кометы Донати и определил период этих колебаний. Он нашел теоретическим путем параболическую форму головы

кометы и рассмотрел вопрос о распределении вещества в хвосте, который представляет собой полый коноид, — нечто вроде трубки или рога, пустого внутри. Но Ф. А. Бредихин определяет стоящую перед ним проблему не только как механическую, но и как физическую.

«Исследование кометных хвостов, весьма естественно, состоит из двух частей. Во-первых, из сравнения наблюдений различных комет в различные времена их видимости нужно вывести геометрические данные, которыми определяется форма хвоста, его положение в пространстве и т. д., и уловить те явления, которыми сопровождаются появление и развитие хвоста. Во-вторых, на основании данных, выведенных из наблюдений, можно уже отыскивать величины и законы действия сил, которые производят хвосты и условливают его видоизменения»[1].

«При исследовании кометных хвостов необходимо обратить внимание на физические свойства комет»[2].

Обе диссертации Бредихина и начало его профессорской деятельности падают на 60-е годы.

За Крымской войной последовали реформы, из которых главной была крестьянская реформа. В это время в широких кругах русского общества пробудился живой интерес к естествознанию, материалистической философии и общественным вопросам. Ф. А. Бредихин, конечно, не остался чужд этим веяниям. «В это время, — пишет С. К. Костинский, — он является блестящим молодым профессором и выдающимся красноречивым лектором-популяризатором: его университетские лекции, и тогда и позднее, привлекали массу студентов, а на его публичные лекции съезжалась вся Москва... Насколько он был популярен в этом отношении, показывает, между прочим, тот факт, что из платы за вход

---

[1] Ф. А. Бредихин. О хвостах комет. М., 1862; 2 изд., 1934, стр. 33.

[2] Там же, стр. 37.

на его публичные чтения ему удалось даже скопить очень солидную сумму, на которую он приобрел впоследствии хороший 4-дюймовый рефрактор Мерца с параллактической установкой и еще несколько более мелких приборов. А между тем материальное положение Ф. А. в этот первый период его деятельности было далеко не обеспеченное, и ему приходилось иногда искать постороннего заработка, чтобы свести концы с концами»[1]. Много публичных лекций читал Ф. А. Бредихин без всякого вознаграждения. В эти же годы он принимал активное участие в делах университета, в частности по вопросу о пересмотре университетского устава (в 1863 г., после отмены реакционных распоряжений Николая I, был введен новый, более либеральный, устав университетов), начал работать в старинном Московском обществе испытателей природы, участвовал в организации Московского математического общества (основателем которого был профессор Н. Д. Брашман, учитель Ф. А. Бредихина в области теоретической механики). Таким образом, Ф. А. Бредихин сыграл видную роль в создании в Москве центра математической и естественнонаучной мысли.

С 1 июня 1867 г. по 1 сентября 1868 г. ему была предоставлена заграничная командировка.

Он провел некоторое время в Мюнхене и прожил почти год в Италии. Там он изучил итальянский язык, которым овладел превосходно, как и французским, английским и немецким. Незадолго до приезда Ф. А. Бредихина итальянский астроном Секки опубликовал письма Скиапарелли, в которых сообщалось об открытии связи комет с метеорными потоками; несомненно, это открытие усилило интерес Ф. А. Бредихина к избранной им области науки. Будучи в Италии, Ф. А. Бредихин не все время посвящал научным занятиям; он с увлечением изучал итальянскую литературу. По свидетельству

---

[1] С. К. Костинский, цит. соч., стр. 4—5.
[2] С. Н. Блажко, цит. соч., стр. 42.

А. А. Белопольского, им были переведены на русский язык три трагедии.

Перевод трагедии Альфиери «Виргиния» был напечатан Ф. А. Бредихиным в «Вестнике Европы» в 1871 г. Сюжетом этого раннего произведения Альфиери является борьба римских плебеев против всемогущего тирана децемвира Аппия. Быть может, не лишне привести два небольших характерных отрывка из перевода Ф. А. Бредихина:

«Я ненависть к названию *патриций*
В тебе вскормила с молоком моим;
Храни к ним ненависть ты эту свято:
Они ее достойны. Не они ль,
Смотря на то, откуда дует ветер,
То унижаются, то снова горды,
И только лишь бесчестны неизменно...»

«Пусть весь народ увидит смерть мою —
И распалит в нем ярость этот вид.
Я буду знаменем служить для мщенья;
Пусть каждый храбрый, оросив свой меч
Моею кровью — в грудь тиранов гнусных
Вонзит его по рукоять...»[1]

Трагедия заканчивается восстанием народа, требующего смерти тирана. Можно предполагать, что молодой Бредихин выбрал для перевода пьесу, которая в какой-то мере отвечала его собственным настроениям, насчет которых мы для того времени, к сожалению, не располагаем другими, более прямыми сведениями.

В 1868/69 учебном году Ф. А. Бредихин вел преподавание, но одновременно стал хлопотать о своем переводе в Киев. Этого ему удалось добиться, и 12 июля 1869 г. он был переведен в

[1] Ф. А. Бредихин. Виргиния. Трагедия Альфиери. Вестник Европы, 1871, кн. 7, июль, стр. 62 и 96.

Киевский университет; однако уже 15 сентября того же года обратился с просьбой о переводе его обратно в Москву. По этому поводу он пишет ректору Московского университета.

«Я оставил Московский университет отчасти по домашним обстоятельствам, отчасти прельщенный более южным климатом Киева. Делая такой решительный шаг и находясь от этого в тревожном состоянии, я не мог спокойно оценить важность той жертвы, которую я приносил сравнительно второстепенным условиям моей жизни. Сознание, что связь с Москвой и Московским университетом, которому я служил 12 лучших лет моей жизни, порвана для меня, так невыносимо тяжело, что, оставаясь здесь, я едва ли буду способен к дальнейшей профессорской деятельности. Ни сравнительно мягкий климат Киева, ни приведение в порядок домашних дел далеко не в состоянии заменить для меня то, что я потерял, покинув родной Университет. Меня утешает только мысль, что, может быть, еще не потеряна возможность вернуться в среду моих недавних товарищей...»[1]

Физико-математический факультет единогласно выразил «свое сочувствие к возвращению столь полезного преподавателя», и Ф. А. Бредихин вернулся в Москву в ноябре 1869 г. Вместо него поехал в Киев М. Ф. Хандриков.

Как нечто новое в наблюдательной деятельности Ф. А. Бредихина в рассматриваемый период следует отметить, что он начал с приобретенным им в 1872 г. рефрактором (см. стр. 481) спектральные наблюдения над Солнцем. Наблюдения эти он продолжал много лет и вел их не только в Москве, но и в вакационное время летом в Погосте,— усадьбе его жены, расположенной на Волге, ниже Костромы. В первом году наблюдений, т. е. в 1872 г., эти наблюдения, согласно замыслу, должны были одновременно проводиться Б. Я. Швейцером в Москве и Ф. А. Бредихиным вне Москвы. Есть сведения, что Б. Я. Швей-

[1] С. Н. Блажко, цит. соч., стр. 42

цер начал спектральные наблюдения солнечных протуберанцев еще ранее, в 1869 г., но по каким-то причинам не счел нужным что-либо публиковать.

В начале 70-х годов популяризаторская деятельность Ф. А. Бредихина достигла полного расцвета. 12 января 1871 г. он выступил с актовой речью на традиционном празднике Московского университета, выбрав темой «Падающие звезды» (эта речь приведена в настоящей книге). В 1872 г. Ф. А. Бредихин прочитал целый цикл публичных лекций, напечатанных затем в журнале «Природа». В этих лекциях он обстоятельно касается животрепещущих проблем астрономии того времени: физических свойств небесных тел, раскрываемых спектральным анализом, мира комет и метеоров. Более подробные сведения о популярных лекциях и статьях Ф. А. Бредихина можно найти у С. Н. Блажко[1]. Важно отметить, что, наряду с сообщением результатов новейших астрономических открытий, Бредихин счел необходимым высказать свои взгляды по вопросу, тогда не столь злободневному,— о происхождении Земли; он посвящает нашей планете статьи: «Вопрос о состоянии земной внутренности», «Климаты Земли в прошлом и настоящем», «Прошедшее и настоящее тел солнечной системы, преимущественно Земли» (опубликовано в журналах «Знание» и «Беседа» за 1871 г.).

Впечатление от лекции Ф. А. Бредихина, читанной уже в середине 80-х годов, живо описывает один из его слушателей:

«Я так ясно вижу переполненную публикой обширную аудиторию Политехнического музея, точно все это происходило только вчера. Публика разношерстная. Целое море волнующихся голов, преимущественно учащейся молодежи, среди которой попадаются и почтенные старцы, и солидные дамы, и даже блестящие военные. Уже 8 часов вечера. Сейчас

---

[1] С. Н. Блажко, цит. соч., стр. 39, 43, 44.

начнется интересная лекция. Взоры всех обращены на обтянутый полотном экран и на эстраду, где с минуты на минуту должен появиться популярный лектор, имя которого успело прогреметь не только в России, но и за границей. ... И вдруг аудитория заволновалась, там и сям послышалось несколько сдержанных хлопков, вскоре перешедших в целую бурю единодушных рукоплесканий. Это приветствовали Федора Александровича, который обычной своей спокойной и твердой поступью, высоко держа голову, что придавало всей его довольно плотной фигуре несколько горделивую осанку, поднимался на эстраду. Вот он сделал короткий поклон, обвел глазами публику, и когда в зале все стихло, начал говорить своим приятным, слегка вибрирующим на низких тонах баритоном... Помню, лекция Бредихина произвела на меня очень сильное впечатление. Этот небольшого роста человек, крайне подвижный и нервный, с острым, насквозь пронизывающим взглядом зеленовато-серых глаз, как-то сразу наэлектризовывал слушателя, приковывал к себе все его внимание. Чарующий лекторский талант так и бил из него ключом, то рассыпаясь блестками сверкающего остроумия, то захватывая нежной лирикой, то увлекая красотой поэтических метафор и сравнений, то, наконец, поражая мощной логикой и бездонной глубиной научной эрудиции...»[1].

П. К. Штернберг особо отмечает искусство и изящество изложения, благородство тона и высоту научного содержания опубликованных в 70-х годах популярных лекций Ф. А. Бредихина.

---

24 июля 1873 г. умер директор Московской обсерватории Б. Я. Швейцер. Менее чем через месяц, 19 июля, Ф. А. Бредихин принял на себя заведование обсерваторией, в которой, кроме

[1] Б. А. Щетинин. Ф. А. Бредихин. Исторический вестник, 1904, № 7, стр. 114—120.

него, тогда работали астроном-наблюдатель А. И. Громадзкий и оставленный при университете В. К. Цераский (1849—1925).

Наступила наиболее плодотворная пора деятельности Ф. А. Бредихина. Он продолжал исполнять свои профессорские обязанности и даже был с 1873 по 1876 г. деканом физико-математического факультета, но чисто научная работа увлекала его все более и более. Очень трудно было бы очертить полностью все исследования, выполненные им за 17 лет директорства в Московской обсерватории: так их много и так они разнообразны. Этими трудами Ф. А. Бредихина была создана слава Московской обсерватории.

Ф. А. Бредихин начал регулярное издание «Анналов Московской обсерватории». С 1874 по 1890 г. им было издано 12 томов «Анналов», причем большинство из них содержит по две книги. Более половины помещенных там статей принадлежит самому Ф. А. Бредихину,— яркое свидетельство его необычайной работоспособности. Ввиду ограниченных возможностей для развития астрометрических наблюдений в Москве и следуя вместе с тем собственным интересам, он придал деятельности обсерватории астрофизический уклон. Им не было забыто ни одно из направлений, по которым развивалась молодая тогда астрофизика. Одним из наиболее важных разделов астрофизики явилась созданная им самим физика комет; только она вышла в те годы из области накопления голых, хотя бы и очень интересных фактов и превратилась в стройную теорию. Соответственно намеченным им задачам Ф. А. Бредихин заботился о пополнении инвентаря обсерватории, насколько позволяли скромные средства, выделявшиеся университетом для этой цели. При нем были приобретены: несколько спектроскопов, второй астрофотометр для работ В. К. Цераского, фотографические объективы и другие приборы. Ф. А. Бредихин организовал при обсерватории фотографическую лабораторию, главное оборудование которой было закуплено на его собственные средства [1]. Этим

[1] С. Н. Блажко, цит. соч., стр. 48.

самым были в возможной мере обеспечены все три раздела наблюдательной астрофизики: астрофотометрия, астрофотография и астроспектроскопия, и, действительно, наблюдения по всем этим разделам проводились при Ф. А. Бредихине на Московской обсерватории, которая вслед за рано прекратившей свою деятельность Виленской обсерваторией становится центром астрофизических исследований в России.

Не желая распылять силы небольшого коллектива сотрудников, Ф. А. Бредихин был вынужден сократить чисто астрометрические наблюдения, и больших наблюдательных рядов он не предпринимал. Впрочем, он заботился о своевременной обработке меридианных наблюдений, сделанных его предшественниками и им самим; эта забота о старых московских наблюдениях не оставляла его и впоследствии в Пулкове. Тем не менее довести до формы каталога удалось только часть этих наблюдений: сказался хронический недостаток вычислительных кадров, которым страдала в условиях царской России даже Пулковская обсерватория, не говоря уже об университетских обсерваториях [1].

В директорство Ф. А. Бредихина в Москве наблюдались на меридианном круге малые планеты и звезды с заметными собственными движениями; сам он занимался микрометрическими наблюдениями на $10^1/_2$-дюймовом рефракторе малых планет, комет и звездных скоплений. Он пытался определить параллакс туманности H IV 37 и производил микрометрические привязки Альголя к соседней слабой звезде, желая посмотреть, нет ли у него периодических изменений координат. Как известно, Альголь — двойная звезда, колебания блеска которого вызываются затмениями со стороны спутника (о спектрально-двойных звездах тогда еще не было и речи). Постановка подобных задач характерна для широты интересов Ф. А. Бредихина, который менее всего был склонен к рутине и шаблону. В этих

[1] С. Н. Блажко, цит. соч., стр. 48.

случаях он, правда, пришел к выводу, что эффект слишком мал и не может быть замечен (что, разумеется, совершенно верно). Он также исследовал абсолютное личное уравнение (личную ошибку наблюдений прохождений звезд) и ошибки микрометрического винта московского рефрактора. При нем была проведена, впрочем задуманная ранее, экспедиция в Кяхту для наблюдения прохождения Венеры по диску Солнца в 1874 г. В экспедицию поехал один В. К. Цераский, но облака позволили ему получить лишь очень небольшое число фотографий, из которых нельзя было извлечь никакого результата.

Ф. А. Бредихин не отделял непроходимой гранью астрометрических наблюдений от астрофизических исследований,— это можно было видеть на примере с Альголем: все же важнее сказать здесь о его наблюдениях комет. При определении их положений он производил также измерения характерных точек их хвостов. Таким образом, наблюдения, по методике астрометрические, были призваны служить физической теории кометных хвостов и сопровождали у Ф. А. Бредихина как необходимое дополнение зарисовки вида кометных голов и хвостов. Почти все астрометрические работы Ф. А. Бредихина заканчиваются в 70-х годах, далее он постепенно отходит от вопросов, чуждых основной линии его исследований — о кометах и метеорах.

Для своих астрофизических наблюдений Ф. А. Бредихин пользовался также рефрактором Московской обсерватории. С ним он проводил, о чем сказано выше, спектральные наблюдения над Солнцем (эти наблюдения он продолжал и летом в Погосте), наблюдал спектры комет и туманностей, изучал поверхности Марса и Юпитера. Организованное им систематическое обследование солнечной хромосферы и протуберанцев и фотографирование Солнца с его пятнами и факелами имели в то время крупное значение. Ф. А. Бредихин произвел первые точные измерения положения ярких полос в кометных спектрах (комета 1874 III); до того ограничивались приближенными описаниями спектра. Он же впервые обнаружил 31 мая (н. ст.)

1882 г., одновременно с Фогелем и Дунером, яркую линию натрия в спектре кометы 1882 I.

Блестящий метеорный дождь Андромедид (Биелид) в 1872 г. вызвал новый подъем интереса к падающим звездам, и Ф. А. Бредихин наблюдает августовский поток Персеид в 1874 и 1875 гг. И в последующие годы он не упускал случая организовать коллективные наблюдения над этим замечательным метеорным потоком. Ф. А. Бредихина, несомненно, следует назвать первым исследователем метеоров в России. Вряд ли можно перечислить много видов астрономической наблюдательной деятельности, которыми Ф. А. Бредихин не занимался,— обстоятельство, очень важное для руководителя больших астрономических обсерваторий.

Ф. А. Бредихин не был чужд и гравиметрии — науке, которая на протяжении XIX века развивалась особенно интенсивно именно в России. В молодости он поместил в «Русском вестнике» за 1863 г. статью: «Отклонения отвеса в Московской губернии», где описывает аномальное поведение силы тяжести, вызванное неправильным распределением подземных масс. Как раз в то время Московская гравиметрическая аномалия подробно исследовалась Б. Я. Швейцером и Ф. А. Слудским путем сравнения астрономических и геодезических широт для ряда пунктов. Значительно позже, начиная с 1880 г., Ф. А. Бредихин проводил наблюдения силы тяжести с репсольдовским поворотным маятником, заказанным по его инициативе для Межевого института в Москве [1]. Нелепая идея нового начальства Межевого института — придать маятнику чисто демонстративное назначение, вместо научного, и поместить его летом 1881 г. на Выставку русских искусств и ремесл,— удивила и оскорбила Ф. А. Бредихина, который поспешил окончить свои опыты и возвратить маятник его владельцам, о чем он сам пишет в VIII томе «Анналов Московской обсерватории» (1882). Только в 1888 и 1889 гг. Ф. А. Бредихин и П. К. Штернберг

[1] С. Н. Блажко, цит. соч., стр. 49—50.

провели с этим маятником дальнейшие определения силы тяжести в нескольких местах. Ф. А. Бредихин уже в 1883 г. высказал мнение, что «местное притяжение довольно заметно в Москве и было бы интересно исследовать его изменения в окрестностях нашей столицы» (Annales de l'Observatoire de Moscou, 1883, t. IX, p. 106). Пожелание его начало исполняться только в 1916—1917 гг., когда П. К. Штернберг приступил к гравиметрическому обследованию района Москвы, хотя с должным размахом эти работы были поставлены здесь только после Октябрьской революции.

Выше обрисована в общих чертах разнообразная и неутомимая наблюдательная деятельность Ф. А. Бредихина. Почти столь же важное значение, как самим наблюдениям, он придавал их скорейшей обработке и публикации, не жалея для этого трудов. Так, например, он сам подготовлял иллюстрации для воспроизведения их литографским способом и т. д. Анналы Московской обсерватории выходили при нем почти ежегодно; не довольствуясь этим, Ф. А. Бредихин многие свои статьи, иногда в виде резюме, посылал для ускорения напечатания в различные русские и иностранные научные журналы. Он не любил оставлять работу в незавершенном виде, и всякое исследование, как правило, доводил до конца. Мнение Ф. А. Бредихина о роли наблюдений и теории выразительно передано С. К. Костинским:

«Имея широкий научный взгляд, он ясно сознавал, что все наши теории, основанные на наблюдениях, должны беспрестанно поверяться подобными же наблюдениями, что, занимаясь теоретическими выкладками в астрономии, мы должны безустанно направлять свой взор к небу... и что только гармоническое сочетание практики с теорией способно вести нас по правильному пути эволюции нашей науки, как это ясно показывает вся ее история.

«Ф. А. часто говорил, что «нельзя сводить всю астрономию к одним вычислениям или к переворачиванию старых формул на новый лад!», и что «тот не астроном, кто не умеет сам

наблюдать!», потому что такой человек не мог бы даже отнестись критически к тому материалу, который кладется им в основание своих вычислений и теоретических соображений. А где нет строгой и беспристрастной критики, нет и науки!» [1].

Такой критический подход к наблюдательному материалу был проявлен Ф. А. Бредихиным еще в магистерской диссертации «О хвостах комет» (1862), и он чрезвычайно характерен для всех его последующих теоретических работ. Ф. А. Бредихин был исключительно талантливым, блестящим полемистом. Выступая против ошибочных теорий Шведова, Маркузе и позже Гольдштейна, Шеберле, Тернера, он умел в нужном случае сразить противника уничтожающим сарказмом, перед тем наглядно показав абсурдность его заключений.

Занимаясь самыми разнообразными наблюдениями, Ф. А. Бредихин настойчиво и целеустремленно вел теоретические исследования почти исключительно в обширной области проблем, представляемых кометами и метеорами.

Как уже упомянуто, в первой своей большой работе — магистерской диссертации «О хвостах комет»— Ф. А. Бредихин в общем еще следует Бесселю, но рассматривает более обширный круг вопросов, чем последний. В 1864 и 1867 гг. появляются статьи Ф. А. Бредихина, посвященные колебаниям истечений из ядер комет. В последующие годы он временно отходит от теоретических вопросов, но начиная с 1875 г. снова к ним возвращается, и одна статья следует за другой почти без перерыва.

Мысль о возможности деления хвостов комет на типы по величине отталкивательной силы, действующей на материальные частицы, из которых состоят хвосты, явилась Ф. А. Бредихину в 1876 г. при исследовании хвоста кометы 1874 III. Более определенно он выразился по этому поводу в 1877 г., изучая аномальные формы развития комет (комета 1862 III). Затем, сопоставив отличавшиеся поразительным сходством параметров хвосты комет 1861 II и 1811 I, Ф. А. Бредихин удостоверил-

[1] С. К. Костинский, цит. соч., стр. 19.

ся, что это — не случай, а новый закон природы, после чего приступил к исследованию всех сколько-нибудь удовлетворительно наблюденных кометных хвостов. О результатах исследования он доложил 5 сентября 1878 г. физико-математическому отделению Академии Наук, членом-корреспондентом которой он был избран в предыдущем году. Историческая статья Ф. А. Бредихина о трех типах кометных хвостов появилась в 1878 г. в «Annales de l'Observatoire de Moscou (vol. V, livr. 1) под названием «Remarque générale sur les comètes» и в 1879 г. в изданиях Академии Наук. Ф. А. Бредихин пишет в «Анналах» (стр. 96—97):

«Вычислив для всех достаточно наблюденных комет силу $1-\mu$, необходимую для развития их хвостов, я пришел к заключению, что эта сила представляется в виде трех различных типов, которые показаны в следующей таблице... Просмотр всех этих чисел показывает нам, что типы не зависят ни от направления движения [кометы], ни от расстояния в перигелии, ни от других элементов... Различия между типами, кажется, указывают на различия в физико-химических свойствах вещества хвостов; различия между значениями для одного и того же типа могут происходить частично от ошибок наблюдения, но главным образом они должны быть приписаны каким-то различиям в веществе для каждого типа... Что касается маленьких хвостов, направленных к Солнцу, то они опущены в нашей таблице, ибо я уже показал, как могут быть объяснены эти придатки — без допущения какой-либо силы — импульсом истечений на частицы мало прочной массы комет».

Хвосты I типа, по классификации Бредихина, направлены почти прямо от Солнца вдоль продолженного радиуса-вектора кометы; они лишь незначительно изогнуты назад (то-есть в направлении, обратном движению кометы). Частицы, образующие эти хвосты, подвержены наибольшим отталкивательным ускорениям. Хвосты II типа более широки и более изогнуты и отклонены в ту же сторону от радиуса-вектора. Отталкивательные ускорения здесь много меньше, чем в хвостах

I типа. Хвосты III типа развиваются под действием незначительных отталкивательных ускорений; они сильно отклонены от радиуса-вектора. Численные величины отталкивательных ускорений будут приведены ниже, так как первые определения Ф. А. Бредихина еще не дали окончательных результатов.

К 13 кометам, хвосты которых были классифицированы в тексте упомянутой статьи, Ф. А. Бредихин добавил еще 9 комет в предисловии, датированном немного позже — 1 декабря 1878 г. (н. ст.); таким образом, его классификация первоначально была применена к 22 кометам. Кроме того, Ф. А. Бредихин (как он пишет в цитате выше) в 1877 г. установил природу аномальных хвостов, утверждая, что аномальный хвост кометы 1862 III представлял самый акт постепенного преобразования части кометной массы в рои метеоров (Annales de l'Observatoire de Moscou, 1877, vol. III, livr. 1, p. 41). Итак, это фундаментальное для теории падающих звезд положение было высказано Ф. А. Бредихиным почти одновременно с открытием подразделения кометных хвостов на типы.

В 1878 г. Ф. А. Бредихин пришел к убеждению, что ряды Бесселя недостаточно точны для надежного определения отталкивательных сил. Строгие формулы для гиперболического движения частиц кометных хвостов были получены им и Н. Е. Жуковским и опубликованы в 1879 г. в V томе «Анналов Московской обсерватории»; в дальнейшем они заменили формулы Бесселя при точной обработке наблюдений хвостов. Надо иметь в виду, что под соединенным действием ньютоновского притяжения и отталкивания Солнца частицы хвостов движутся преимущественно по гиперболам даже в том случае, если отталкивание незначительно, так что в результате получается лишь несколько ослабленное притяжение.

С течением времени Ф. А. Бредихин распространял свою классификацию на все большее число комет. В 1885 г. он смог произвести пересмотр численных величин отталкивательной силы и определил типы хвостов для 33 комет. Эти основные величины в дальнейшем почти не изменялись, и мы приводим

их здесь в том окончательном виде, в котором они были даны Ф. А. Бредихиным в 1903 г. в книге Егермана (стр. 47—48)[1]:

«Соответствующие трем типам хвостов величины $1-\mu$ и g таковы:

	I тип	II тип	III тип
$1-\mu$	18	От 2.2 до 0.5	От 0.3 до >0
g	От 0.34 до 0.1	От 0.07 до 0.03	От 0.02 до 0.01

Единицей времени для начальной скорости g служит $1 : k =$ $= 58.13244$ суток. За единицу расстояния принято среднее расстояние Земли от Солнца (149 480 000 километров, соответственно параллаксу 8",80 и бесселевым размерам Земли). Отталкивательная сила $1-\mu$ неизвестной энергии, исходящей в направлении от Солнца, выражена в единицах обычного притяжения...» (стр. 392).

Основы классификации кометных хвостов были установлены Ф. А. Бредихиным правильно и позже получили дальнейшее развитие в трудах советских ученых: лауреата Сталинской премии члена-корреспондента Академии Наук С. В. Орлова и его учеников.

В 1879 г. Ф. А. Бредихин высказал гипотезу, что хвосты комет состоят из заряженных электричеством газовых молекул и что отталкивательная сила обратно пропорциональна весам молекул.

«Говоря о строении комет, я всегда рассматриваю частицы их истечений, как сводящиеся к молекулам, и это потому, что мне кажется, что постоянство отталкивательной силы Солнца может быть согласовано только с постоянством объема молекул, которые представляют последние пределы физической делимости материи» (Annales de l'Observatoire de Moscou, 1879, vol. VI, livre 1, p. 61).

Исходя из этих соображений, Ф. А. Бредихин указал на существование натрия, а затем железа (и некоторых других

---

[1] См. об этой книге на стр. 527—528.

элементов) в составе комет. Это предсказание блестяще оправдалось через три года: сам Ф. А. Бредихин нашел в спектре кометы 1882 I натрий (см. стр. 490), после чего Копеланд, Лозе и Толлон увидели линии железа в спектре кометы 1882 II, чрезвычайно близко подходившей к Солнцу. В 1885 г., после пересмотра численных величин отталкивательной силы Солнца, Ф. А. Бредихин высказался определеннее по этому вопросу. Он считает попрежнему, что приведенное выше отталкивательное ускорение в хвостах I типа соответствует молекулам водорода, затем берет отношение этого ускорения к различным меньшим его значениям, найденным у комет с хвостами II и III типа. Эти отношения он сопоставляет с молекулярными весами ряда веществ, отнесенными к молекулярному весу водорода как единице. Список веществ, предположительно содержащихся в хвостах II и III типа, включает углерод и его соединения, азот, натрий, железо; позже Ф. А. Бредихин прибавил и другие вещества.

Если учесть, что в ту эпоху в астроспектроскопии делались только первые шаги к эмпирической классификации звездных спектров, становится понятным, что убедительно аргументированная и так быстро и эффектно подтвердившаяся физико-химическая теория кометных хвостов Бредихина произвела большое впечатление и оставалась общепринятой в течение долгого времени. На фоне дутых «оптических» и тому подобных гипотез о хвостах комет только взгляды Ф. А. Бредихина опирались на серьезные научные основания.

С тех пор прошло много десятилетий и наши средства исследования стали неизмеримо более мощными и разнообразными. Физика и химия комет сделали громадные успехи. И, хотя еще и сейчас не все линии кометных спектров расшифрованы полностью, все же известно, что химический состав кометных хвостов не таков, как предполагал Ф. А. Бредихин. Это обстоятельство, выясненное уже после смерти Ф. А. Бредихина, конечно, нисколько не умаляет значения его классификации

кометных хвостов, подтверждаемой и современными спектральными данными.

О природе отталкивательной силы Солнца Ф. А. Бредихин выражался осторожно. Так, например, в 1879 г. он писал:

«Я употребляю наименование электричества для энергии, исходящей от Солнца и действующей по-разному на разные химические элементы в кометах, потому что это наименование уже введено в физические теории комет, но очень возможно, что последующие исследования лучше уточнят название и свойства этой энергии» (Annales de l'Observatoire de Moscou, 1879, vol. V, livr. 2, p. 139).

Значительно позже знаменитый физик П. Н. Лебедев указал на большую роль, которую играет давление света в движении очень малых частиц материи в мировом пространстве. В самом начале XX века П. Н. Лебедев смог изумительно точными опытами обнаружить и измерить световое давление. Сущность отталкивательной силы, действующей в кометных хвостах, свелась к давлению излучения Солнца. И все же, повидимому, электрическое отталкивание проявляется в наблюденных в хвостах громадных ускорениях, превышающих в тысячу и более раз ускорение притяжения. Столь большие ускорения уже не объясняются давлением света на материальные частицы.

Развивая методами небесной механики теорию кометных форм (отсюда название: механическая теория кометных форм), Ф. А. Бредихин постепенно смог объяснить все явления, наблюденные до тех пор у различных комет: распределение света в голове кометы и направление истечений из ядра, различную яркость предшествующей и последующей ветви хвоста и так называемые синхроны, то-есть кривые, по которым располагаются частицы, выброшенные одновременно из ядра кометы, но подверженные различным отталкивательным ускорениям. В разработке метода построения синхрон, а также синдинам, или кривых, соответствующих частицам, выброшенным в различное время, но движущихся с одним и тем же ускорением, принял участие Н. Е. Жуковский (Annales

de l'Observatoire de Moscou, 1884, vol. X, livr. 2, p. 47). В 1885 г. Ф. А. Бредихин дал теоретическое объяснение особой форме кометного хвоста, состоящего из двух перекрещивающихся ветвей, наподобие греческой буквы гамма. Тогда же он рассмотрел движение так называемых облаков Шмидта (отдельных частей хвоста) у кометы 1882 II.

В этих исследованиях ярко отражается материалистический подход Бредихина к изучению явлений природы, которые он считает вполне познаваемыми. Он ищет связей между особенностями движения кометных частиц, вскрываемых и объясняемых его механической теорией, и физическим строением и химическим составом комет. Ф. А. Бредихин этим показал, что в движении материи во вселенной отталкивание играет столь же существенную роль, как и притяжение. Ф. Энгельс, говоря о том, что притяжение и отталкивание неотделимы друг от друга, приводит в качестве примера следующее:

«Все признают материальность кометных хвостов. Они обнаруживают огромное отталкивание»[1].

«Уже в газе — отталкивание молекул, еще значительнее — в более тонко распыленной материи, например в кометных хвостах, где оно действует даже с колоссальной силой»[2].

Истинный энтузиазм естествоиспытателя, которым горел Ф. А. Бредихин, когда он занимался своими исследованиями, производил глубокое впечатление на всех, кто его видел, особенно же на его учеников.

«Ф. А. всегда любил молодежь, и всегда она его окружала до самой смерти. От него исходила школа молодых астрономов. Он прямо очаровывал своих учеников своею личностью, своим остроумием, веселой и живой беседой, тонкой наблюдательностью и необыкновенной простотой обращения: в беседе с ним забывалось его высокое научное и общественное положение.

[1] Фридрих Энгельс. Диалектика природы. Госполитиздат, 1949, стр. 194.

[2] Там же.

Я до сих пор вспоминаю о времени моего пребывания в Москве, в его обществе, в его семье, как о времени, самом отрадном в моей жизни. Там впервые после университета я понял, что значит труд, одухотворенный идеей, труд упорный, систематический. Там я впервые узнал, что такое научный интерес. Ф. А. заражал своей научной деятельностью, своим примером, и это была истинная школа, истинный университет для начинающего».

«За что бы он ни брался, во всем проявлялась в высшей степени богато одаренная натура: он являлся то художником — при рисовании подробностей поверхности Солнца и планет, то механиком — при сборке инструментов, то инженером — при сооружении помещений для инструментов, то образцовым вычислителем: Ф. А. всегда сам проделывал все многочисленные и кропотливые вычисления, относящиеся к его исследованиям, и никто из сотрудников не мог конкурировать с ним в быстроте и безошибочности вычислений»[1].

Приводя эту характеристику, С. К. Костинский добавляет:

«Из своих личных воспоминаний я могу привести эпизод, ярко иллюстрирующий его пламенный научный интерес и упорство в труде. В 1889 году появилась одна телескопическая комета, как оказалось потом — периодическая, которая внезапно разделилась на целых *пять частей*. Как раз в это время Ф. А. очень интересовался вопросом об образовании новых комет путем деления старых на части под влиянием различных причин, и понятно, что не было пределов его радости при таком удачном подарке судьбы! Он сейчас же начал собирать все публикованные наблюдения отдельных частей кометы и предложил мне, тогда студенту IV курса физико-математического факультета, заняться под его руководством вычислением их *относительных* путей в пространстве. С самого начала мы обратили внимание на то обстоятельство, что вблизи своего афелия

[1] А. А. Белопольский. Известия Академии Наук, т. XXI, № 2, 1904, сентябрь, стр. I—IV.

комета прошла *очень близко* к Юпитеру, и, следовательно, можно предположить, что ее разрыв обусловливался приливным действием этой планеты. Мне хорошо помнится то утро, когда я пришел к Ф. А. с оконченными вычислениями относительной орбиты самого яркого спутника кометы; заслышав мои шаги в передней, он выбежал из кабинета навстречу и крикнул еще издали, вместо всякого приветствия: «ну, говорите скорей, какое Δi?». И узнав, что Δi исчезающе мало, т. е. что обе части кометы движутся в *одной* плоскости, как и следовало ожидать на основании сказанного выше, Ф. А. чуть не прыгал от восторга. Затем он предложил мне немедленно приняться за вычисления орбиты второго спутника, а также за определение места пересечения орбит спутников с орбитой самой кометы, чтобы решить вопрос о времени и месте разрыва кометы. Мы оба сейчас же засели в его кабинете и вычисляли более 12 часов подряд, причем Ф. А. гнал всех приходивших к нему по делам и еле согласился уделить самое короткое время на обед. В конце концов, мы убедились, что орбиты спутников и главной кометы действительно пересекаются *близко* в одной точке, и притом лежащей недалеко от афелия кометы; стало быть, первоначальная гипотеза получила очень веское подтверждение! Я ушел тогда от Ф. А. усталый, но полный энтузиазма и жажды деятельности и гордый сознанием, что лично принимал хотя и небольшое участие в раскрытии научной истины»...[1]

Вот еще интересная выдержка из воспоминаний П. К. Штернберга:

«Нельзя не упомянуть здесь об удивительной усидчивости в работе и поразительном его прилежании. Когда у него явилась идея, то он отдавался ей весь с увлечением, она его поглощала, все средства пускались на ее разработку. Он творил и весь жил в идее. В это время он ни о чем, кроме вопроса, его интересовавшего, говорить не мог. Я живо и отчетливо помню те первые моменты, когда у Ф. А.-ча зарождались идеи о про-

---

[1] С. К. Костинский, цит. соч., стр. 14—15.

исхождении метеорных потоков,— это группа тех тел, которые при встрече с Землею загораются от трения о частицы воздуха и дают происхождение хорошо известному явлению падающих звезд.

«Мы сидели за вечерним чаем и беседовали на тему, совершенно не относящуюся к астрономии. Ф. А., повидимому, внимательно слушал, не вмешиваясь в разговор. Только нервное пощипывание усов указывало на возбужденную деятельность его ума. Вдруг он вскакивает со стула и к нашему удивлению говорит: «Это Скиапарелли врет, не может, чтобы такая колбаса держалась около Солнца». Затем полилась его вдохновенная речь, и он начал нам развивать свою идею о происхождении метеоров. Затаив дыхание, мы с благоговением долго слушали его — мы присутствовали при созидании новой теории. После этого вечера последовал один мемуар за другим с лихорадочной поспешностью» [1].

Первая мысль о том, что аномальные хвосты комет показывают нам процесс образования метеорных потоков, возникла у Ф. А. Бредихина, как мы знаем, в 1877 г. Однако в то время он еще не отделял ее полностью от представлений Скиапарелли, согласно которым главная масса кометы образует облако твердых частиц, связанных в ограниченном объеме только силой взаимного тяготения. По воззрениям Скиапарелли, возмущающее притяжение Солнца отрывает от этого облака отдельные частицы, которые начинают двигаться самостоятельно и составляют в своей совокупности метеорный поток. Именно против этого представления и восстает Бредихин; с его новой точки зрения не сила притяжения Солнца, а потоки истечений газов выносят твердые тельца из ядра кометы, которое устроено гораздо компактнее, чем думал Скиапарелли.

Эти исследования о метеорах и периодических кометах относятся уже к концу московского периода жизни Ф. А. Бредихина. В 1890 г. в «Annales de l'Observatoire de Moscou»,

---

[1] П. К. Штернберг, цит. соч., стр. 41—42.

série 2, vol. II, были опубликованы его статьи: «О происхождении падающих звезд», «О происхождении периодических комет», «О важных свойствах метеорных потоков», «О спутниках кометы 1889 (Брукса)». Здесь нет необходимости говорить подробнее об этих работах, ибо первые три из них входят в настоящий сборник. Все же заметим кратко, что новая теория Бредихина существенно изменила воззрения астрономов на происхождение метеоров и впервые дала объяснение таким, например, явлениям, как значительная длительность действия некоторых потоков.

Интересны и важны идеи Ф. А. Бредихина о делении комет и образовании периодических комет и его критика стационарных (неподвижных) радиантов. Разумеется, и в области метеоров новые методы наблюдения — фотографический и радиолокационный — дали много сведений, которые были неизвестны еще сравнительно недавно. Однако основная мысль Ф. А. Бредихина о происхождении метеоров из ядер комет и отдельные, но чрезвычайно глубокие космогонические замечания, разбросанные в статьях этого цикла, имеют и теперь громадное значение и находят все больше подтверждений в современных исследованиях о природе комет и устройстве их ядер.

Условия университетской жизни в 70-е—80-е годы прошлого столетия были особенно неблагоприятны для создания крупных научных школ. Подготовлялась, а затем в 1884 г. осуществилась замена либерального университетского устава 1863 г. новым реакционным уставом, сгущалась мертвящая атмосфера казенщины, всячески урезывались и без того крошечные средства на научную работу. Этим объясняется, между прочим, тот факт, что Ф. А. Бредихин не смог приобрести крупных инструментов для Московской обсерватории. Более того, даже хлопоты Ф. А. Бредихина об элементарном благоустройстве в районе обсерватории долгое время не имели никакого успеха. Ф. А. Бредихин пишет в своем отчете 1882 г.: «К сожалению, отсутствие шоссе и глубокая грязь осенью и весной в переул-

ках подле обсерватории составляет большое препятствие к посещению обсерватории студентами; представления профессора по этому предмету оставляются муниципалитетом без последствий», и в 1883 г.: «Просвещенный московский муниципалитет оставляет переулок обсерватории в грязи, несмотря на ходатайство проф. Бредихина». Только к самому концу директорства Ф. А Бредихина путь к обсерватории был замощен [1].

В то время в университетских обсерваториях единственным штатным лицом, кроме профессора астрономии, был астроном-наблюдатель. В Московской обсерватории им был до 1878 г. А. И. Громадзкий, а после него В. К. Цераский. Ассистенты обсерватории работали сверх штата, и их должности оплачивались в зависимости от наличия специальных средств. И если при всех неблагоприятных условиях научная жизнь на Московской обсерватории кипела ключом и слава ее росла, это было следствием научного энтузиазма не только самого Ф. А. Бредихина, но и его сотрудников.

Студентов, выбиравших астрономию своей специальностью, тогда (как, впрочем, и всегда в дореволюционной России) было мало. Тем, кто у него начинал работать, Ф. А. Бредихин предоставлял полную свободу и только следил за результатами, требуя представления научных статей к текущим выпускам «Анналов». «Он говаривал, что если кто любит науку и обладает способностями, то он преодолеет все встречающиеся затруднения и выберется на дорогу; в противном же случае научный пыл у начинающего остынет, и он примется за то дело, которое ближе подходит к его натуре» [2]. Главным образом личным примером Бредихин сумел создать на Московской обсерватории первую русскую астрономическую школу, представители которой с гордостью называли себя его учениками.

Из их числа нужно в первую очередь упомянуть В. К. Цераского, который слушал лекции Ф. А. Бредихина и начал

---

[1] С. Н. Блажко, цит. соч., стр. 61.

[2] П. К. Штернберг, цит. соч., стр. 38—39.

работать на обсерватории еще в последние годы директорства Б. Я. Швейцера. После путешествия в Кяхту (о чем сказано выше) В. К. Цераский перешел к астрофизической тематике, которую начал развивать Ф. А. Бредихин. В 1875 г. В. К. Цераский занялся фотографированием Солнца и одновременно астрофотометрическими исследованиями, вскоре ставшими основной областью его научной деятельности. Ф. А. Бредихин стремился улучшить неустойчивое материальное положение В. К. Цераского, который был сверхштатным ассистентом, и рекомендовал его как лектора по физике для Лубянских женских курсов (впоследствии Высшие женские курсы)[1]. Ф. А. Бредихин также заботился о том, чтобы В. К. Цераский скорее написал магистерскую диссертацию, что было необходимо для обеспечения за ним должности астронома-наблюдателя.

Несколько позже на Московской обсерватории появился А. А. Белопольский (1854—1934), которому в 1877 г. было поручено Ф. А. Бредихиным продолжение работ В. К. Цераского по фотографированию Солнца. А. А. Белопольский занимался этим до своего перехода в Пулково в 1888 г.; кроме того, он вел наблюдения на меридианном круге и в 1883 г. начал, повидимому впервые в России, опыты по фотографированию звезд. Когда Ф. А. Бредихин организовал три экспедиции для наблюдения полного солнечного затмения 1887 г., только на долю А. А. Белопольского, наблюдавшего в Юрьевце, выпал относительный успех, и ему удалось сфотографировать внутреннюю корону Солнца, а остальным наблюдателям помешали облака.

П. К. Штернберг (1865—1920), поступивший в Московский университет в 1883 г. уже с определившейся склонностью к астрономии, немедленно начал заниматься на обсерватории вместе со студентами старших курсов, встретив самое теплое отношение со стороны Ф. А. Бредихина, который сумел угадать в первокурснике будущего ученого. Летом следующего, 1884 года Ф. А. Бредихин командировал П. К. Штернберга

[1] С. Н. Блажко, цит. соч., стр. 60.

в Пулковскую обсерваторию для ознакомления с ее инструментами; эта поездка оставила у П. К. Штернберга воспоминание на всю жизнь. По совету Ф. А. Бредихина П. К. Штернберг занялся обработкой наблюдений над красным пятном на Юпитере и получил за эту работу золотую медаль при окончании университета в 1887 г. Как уже упомянуто выше, в последующие годы П. К. Штернберг занимался вместе с Ф. А. Бредихиным гравиметрическими наблюдениями. Прочные дружеские отношения П. К. Штернберга и Ф. А. Бредихина, повидимому, никогда и ничем не омрачались.

А. П. Соколов, геодезист по образованию, служивший в Межевом институте, также принимал участие в работах обсерватории при Ф. А. Бредихине, в частности в исследованиях по теории кометных форм. В конце московского периода деятельности Ф. А. Бредихина, в 1890 г., окончил университет С. К. Костинский (1867—1936).

В 80-е годы Ф. А. Бредихин начал тяготиться чтением лекций. Это не слишком трудно понять. Надо вспомнить, что в то время (да и позже) университетские планы преподавания зачастую отличались схоластическим характером и были оторваны от потребностей практики. Ф. А. Бредихин, конечно, чувствовал ненужность чтения на физико-математическом факультете обширных общеобязательных курсов «меловой» астрономии[1], которая у подавляющего большинства студентов отнюдь не вызывала интереса, так как никогда в жизни не могла им понадобиться. Приведем интересный рассказ П. К. Штернберга:

«В мое время он не любил читать в университете лекций, увлеченный, быть может, своими научными исследованиями, и, дорожа каждой минутой, он бывал рад всякому случаю прервать лекцию. Весна, солнце ярко светит, а в аудитории душно; прочтет Феодор Александрович минут 20, затем кладет мел и с чисто детской простотой говорит: «Птички поют, ручейки текут; господа, пойдемте-ка домой», и студенты веселой

[1] По выражению С. П. Глазенапа.

гурьбой провожают Феодора Александровича по Никитской. В редких случаях, когда ему приходилось говорить по вопросам, которые интересовали его в данную минуту, вдохновенная речь лилась широким потоком, остроумные и образные сравнения раскрывали перед слушателями картины тайн природы; эти лекции запечатлевались в умах слушателей надолго. Экзамены производились Феодором Александровичем по упрощенному способу, как он выражался В день экзамена все студенты по очереди брали билеты, садились за стол и писали ответы. В это время Феодор Александрович брал список и начинал ставить пятки всем слушателям без исключения, умоляя только сообщить, кто из слушателей, быть может, умер, и по этому поводу рассказывался анекдот»[1].

Широко образованный во многих отраслях естествознания и прекрасный математик Ф. А. Бредихин охотно поддерживал общение с учеными, украшавшими тогда физико-математический факультет Московского университета. В его семье нередко собирались по воскресеньям профессора: В. Я. Цингер, Ф. А. Слудский, Н. Е. Жуковский, А. Г. Столетов и другие; тогда же приходили и астрономы обсерватории: А. И. Громадзкий, А. А. Белопольский, А. П. Соколов и В. К. Цераский, особенно умевший вызывать и поддерживать оживленную беседу[2]. В последующие годы у Ф. А. Бредихина бывал П. К. Штернберг.

Вместе с виднейшими профессорами физико-математического факультета Московского университета и со всей передовой русской общественностью Ф. А. Бредихин горячо выступил против реакционных сил в императорской Академии Наук, позорным образом помешавших избранию в академики великого русского ученого Д. И. Менделеева. В письме к Д. И. Менделееву, опубликованном 24 ноября 1880 г. в газете «Молва», возмущенные московские профессора, в частности, писали:

---

[1] П. К. Штернберг, цит. соч., стр. 39.
[2] С. Н. Блажко, цит. соч., стр. 66.

«История многих академических выборов с очевидностью показала, что в среде этого учреждения голос людей науки подавляется противодействием темных сил, которые ревниво затворяют двери Академии перед русскими талантами».

Позже Ф. А. Бредихину пришлось ближе столкнуться с этими реакционными «темными силами» в Академии Наук.

Много лет подряд Ф. А. Бредихин принимал активное участие в деятельности Московского общества испытателей природы, выступая в нем с докладами и печатая статьи в его изданиях.

«Его доклады в обществе, несмотря на специальный характер, всегда привлекали массу посетителей, так как редко кто обладал бо́льшим умением заинтересовать даже плохо знакомых с астрономией лиц мастерским изложением подчас весьма сложной темы. Стараясь избегать обилия формул, но не скупясь на чертежи, Феодор Александрович в живой и обыкновенно очень красивой форме с поразительной живостью излагал результаты своих исследований.

«Его сообщения о строении и движении кометных хвостов, о происхождении метеорных потоков останутся надолго памятными всем, кому выпало на долю счастье их слышать»[1].

В 1886 г. Ф. А. Бредихин был избран почетным членом, а затем президентом этого всемирно известного общества. В последней должности он оставался до 1890 г., когда переехал в Пулково.

---

7 августа 1889 г. Пулковская обсерватория праздновала пятидесятилетний юбилей со дня открытия. Приветственные речи ученых, съехавшихся на торжественное собрание, множество поздравительных писем, телеграмм и адресов, сочинения, посвященные обсерватории по случаю ее юбилея,— все свидетельствовало о выдающихся заслугах этого знаменитого учреждения.

[1] П. К. Штернберг, цит. соч., стр. 36—37.

Считалось общепризнанным, что Пулковская обсерватория заняла первое место в мире по необычайной точности абсолютных определений положений звезд, по целеустремленной и продуманной организации фундаментальных наблюдений. Этот юбилей совпадал также с пятидесятилетием деятельности на обсерватории ее директора О. В. Струве, сына знаменитого ее основателя В. Я. Струве.

Однако, наряду с громадными достижениями Пулковской обсерватории в чисто научной области, деятельность ее в целом не отвечала задачам, которые стояли перед центральным астрономическим учреждением России. Оторванность обсерватории от русских университетов проявлялась в той или иной мере на протяжении всей ее полувековой истории, и с течением времени эта тенденция к обособлению и замкнутости не ослабевала, а скорее усиливалась. Научные кадры подбирались почти исключительно из иностранцев — немцев и шведов; разговорным и деловым языком в Пулкове служил немецкий. Само собой разумеется, что при таких условиях Пулковская обсерватория не могла быть тем, чем ей полагалось быть по ее уставу, то-есть высшей астрономической школой для молодых русских ученых. Столь затянувшееся ненормальное положение вещей привело, наконец, к открытым протестам со стороны русской научной общественности.

Надо сказать, что первую попытку улучшить обстановку в Пулкове предпринял сам О. В. Струве, пригласив в начале 1888 г. на вакантную должность адъюнкт-астронома А. А. Белопольского; немного позже был назначен сверхштатным астрономом М. Н. Морин. Непосредственно перед этим в составе обсерватории не было *ни одного* русского астронома. Однако дальнейших шагов в нужном направлении не было сделано, и кончилось тем, что в 1889 г О. В. Струве почувствовал необходимость подать в отставку, после того как умер поддерживавший его во всех мероприятиях президент Академии Наук Д. А. Толстой. 15 декабря 1889 г., вскоре после юбилея обсерватории, О. В. Струве покинул свой директорский пост.

Еще до того, как это случилось, возник вопрос о замещении его достойным представителем русской астрономической науки. Единственным кандидатом мог быть Ф. А. Бредихин, которому и было сделано через О. В. Струве предложение баллотироваться в ординарные академики. На это предложение первоначально последовал со стороны Ф. А. Бредихина отказ. Мотивом отказа было нежелание расставаться с Московской обсерваторией, с которой Ф. А. Бредихин давно уже свыкся. К тому же он не чувствовал призвания к административной деятельности, которая неизбежно должна была отвлечь его от научной работы. Наконец, незадолго до этого, в 1888 г., трагически погиб его единственный сын Дмитрий, и это тяжело отозвалось на его самочувствии. Однако после повторных настойчивых предложений О. В. Струве для Ф. А. Бредихина стало ясно, что он обязан пожертвовать своими личными интересами и выполнить свой патриотический долг. С другой стороны, его должна была привлекать возможность внести новую живую струю в застывшую атмосферу Пулковской обсерватории.

Весной 1890 г. Ф. А. Бредихин был избран академиком, 5 июня назначен заведующим Пулковской обсерватории и 15 декабря того же года утвержден ее директором. Переехал он туда из Москвы осенью.

«При самом вступлении в управление обсерваторией,— пишет Ф. А. Бредихин в первом своем отчете,— для меня было непреложной истиной, что теоретически образованным питомцам всех русских университетов, чувствующим и заявившим свое призвание к астрономии, должен быть доставлен, в пределах возможности, свободный доступ к полному практическому усовершенствованию в этой науке, а затем и к занятию всех ученых должностей при обсерватории. Только таким путем Пулковская обсерватория может образовать достаточный собственный контингент для замещения выбывающих деятелей. С другой стороны, и русские университеты только таким образом могут всегда иметь кандидатов, настолько сведущих и опытных в практической астрономии, что им, — по достижении

ими ученых степеней,— с полной надеждой на успех можно будет поручать как преподавание астрономии, так и управление университетскими обсерваториями»[1].

В число сотрудников обсерватории были приняты В. В. Серафимов, А. А. Иванов, С. К. Костинский, С. С. Лебедев. Должность вице-директора, пустовавшую несколько лет подряд. стал исполнять А. П. Соколов, приехавший вместе с Бредихиным из Москвы. А. А. Белопольский перешел на вакансию астрофизика. В последующее время Ф. А. Бредихин привлек к работе в обсерватории еще ряд молодых астрономов, так что почти все русские университеты были представлены в Пулкове своими воспитанниками. Все вновь принятые астрономы приступили к наблюдениям на больших инструментах, сначала под руководством старых опытных наблюдателей, а вскоре и совершенно самостоятельно. Доверие Ф. А. Бредихина вызывало у пулковской молодежи необычайный прилив энтузиазма, и результаты начатых наблюдений оказались прекрасными. Ф. А. Бредихин по этому поводу замечает:

«Допущенные к серьезным наблюдениям молодые русские ученые имеют возможность подготовиться к самостоятельной деятельности в области астрономии, между тем как одна только механическая работа вычисления чужих наблюдений по шаблонным, элементарным формулам не подходит к уровню их солидного математического образования и является для них чем-то не выше бухгалтерии. А при таких условиях и самый материал наблюдений не может быть, конечно, обрабатываем ни с желаемой и возможной быстротой, ни с надлежащей внимательностью»[2].

Не ограничиваясь этим, Ф. А. Бредихин сразу же добился значительного улучшения материального положения сверх-

---

[1] Отчет за время с 1 ноября 1889 по 1 сентября 1891 года, представленный Комитету Николаевской главной астрономической обсерватории ее директором. 1891, стр. 3.

[2] Там же, стр. 4—5.

штатных астрономов, которое было до того очень незавидным.

Летом 1891 г. Ф. А. Бредихин, желая лично ознакомиться с состоянием астрономии в России и создать прочную связь между Пулковской и другими русскими обсерваториями, посетил обсерватории в Москве, Харькове, Николаеве, Одессе и Киеве. Он пишет:

«...Я вынес полное убеждение, что как Пулковская обсерватория, так и университетские обсерватории наши совершенно обеспечены свежими силами, если только этим последним будет оказана в той или другой форме поддержка для продолжения ими начатой деятельности.

«Пулковская обсерватория должна принять в этом деле посильное участие, ясно сознавая, что комплектование ее самой выпиской из-за границы следует и можно навсегда вывести из употребления»[1].

Двери обсерватории широко распахнулись перед приезжими на время, для усовершенствования, русскими астрономами. Многие из этих гостей оставались в Пулкове подолгу и основательно познакомились с различного рода наблюдениями и вычислениями. Началась эпоха, когда Пулковская обсерватория по праву могла назваться «учреждением национальным» (по выражению Ф. А. Бредихина).

Благодаря ходатайствам Ф. А. Бредихина некоторые русские обсерватории смогли существенно улучшить свое оборудование и шире развернуть деятельность. Так, например, Одесская обсерватория благодаря ему получила инструменты для спектральных и фотографических наблюдений, в Харьковской обсерватории была учреждена должность астронома-наблюдателя, ранее отсутствовавшая; по совету Ф. А. Бредихина был приобретен астрограф для Ташкентской обсерватории (такой же, как для Пулкова) и там была учреждена должность астрофизика.

---

[1] Там же, стр. 5—6.

Широко используя влившиеся в обсерваторию молодые кадры, Ф. А. Бредихин принял меры к успешному продолжению астрометрических наблюдений и к расширению их программы. На большом пассажном инструменте А. П. Соколов и С. С. Лебедев и на вертикальном круге М. О. Нюрен и А. А. Иванов начали наблюдения положений тех фундаментальных звезд для международных меридианных зонных каталогов, которые еще не входили в прежнюю пулковскую программу. Вслед за тем на этих инструментах были предприняты наблюдения положений околополярных звезд, причем особенное внимание было обращено на самое тщательное определение прямых восхождений с помощью пассажного инструмента, с точнейшим учетом инструментальных погрешностей; как известно, определение точных прямых восхождений звезд с большими склонениями представляет особенные трудности. К концу директорства Ф. А. Бредихина были начаты наблюдения звезд нового фундаментального каталога Пулковской обсерватории для равноденствия 1900.0. Каталог этот, в соответствии с требованиями времени, содержал звезды не ярче 5-й и не слабее 7-й величины. В последнем своем отчете Ф. А. Бредихин высказывает по его поводу следующие соображения:

«В известных случаях этот «новый фундаментальный каталог» будет иметь многие преимущества перед старым.

«Не говоря уже о возможности определять слабые звезды с большей точностью, чем светлые,— при помощи фундаментальных звезд этих величин, можно будет относить к новому каталогу все почти имеющие некоторое значение объекты, когда они будут сняты фотографически таким образом, чтобы на той же пластинке помещалась одна из сказанных фундаментальных звезд.

«Для того, чтобы сделать употребление нашего каталога более пригодным в видах небесной фотографии, положено избрать звезды таким образом, чтобы на всем пространстве неба от северного полюса до 15° южного склонения каждый квадрат, имеющий стороною 5°, содержал по крайней мере одну фунда-

ментальную звезду. Полное число избранных таким образом звезд равно почти 1100»[1].

Активно велись наблюдения на меридианном круге и на 15-дюймовом рефракторе. Важную и в то время новую задачу представляли определения колебаний широты, проводившиеся С. К. Костинским с помощью пассажного инструмента в первом вертикале. На 30-дюймовом рефракторе продолжались ценные наблюдения над системами спутников больших планет, начатые еще ранее Г. О. Струве (сыном О. В. Струве). В то же самое время была ускорена обработка прежних рядов астрометрических наблюдений.

Однако Ф. А. Бредихин считал еще более существенным немедленное развертывание исследований в области астрофизики. Надо сказать, что к тому времени в обсерватории уже ряд лет существовала должность астрофизика и даже имелась астрофизическая лаборатория, но все ранее выполненные в Пулкове исследования носили чисто физический лабораторный характер, за исключением небольшого числа фотометрических наблюдений и фотографирования Солнца. Ф. А. Бредихин прежде всего организовал спектральные наблюдения над солнечной хромосферой, а затем постепенно приобрел спектрографы для больших рефракторов обсерватории и прибор для измерения спектрограмм. В 1891 г. А. А. Белопольский был командирован за границу, чтобы выяснить, какой из существующих видов астрографов является наилучшим. Решено было заказать так называемый нормальный астрограф, то-есть инструмент, подобный тем, которые были приняты для составления международной фотографической карты неба. Нормальный астрограф был готов и установлен в Пулкове в 1893 г., и наблюдения с ним развернулись в полной мере уже после Ф. А. Бредихина. Зато другие астрофизические работы, благодаря энергии А. А. Белополь-

[1] Отчет за время с 1 сентября 1893 по 1 сентября 1894 года, представленный Комитету Николаевской главной астрономической обсерватории ее директором, 1894, стр. 10.

ского и его помощников, уже в первые годы приняли большой размах. Не только успешно продолжались фотометрические наблюдения звезд и были, наконец, обработаны фотографии солнечной поверхности, но, что гораздо важнее, А. А. Белопольский сразу же широко поставил фотографирование звездных спектров на мощном 30-дюймовом рефракторе, став одним из пионеров в этой новой и интереснейшей области астрофизики. Исследования спектрально-двойных и переменных звезд, новой звезды в созвездии Возничего следовали одно за другим, становились достоянием печати и обратили на себя внимание во всем мире. Применяя для определения лучевых скоростей светил принцип Доплера, А. А. Белопольский пришел к идее проверить этот принцип путем опыта. Сообщая об этом, Ф. А. Бредихин в пояснение пишет:

«Принцип Доплера получил до сих пор подтверждение лишь на небе (движение Земли,— сказывающееся в движении звезд,— движение Венеры и вращение Солнца). Однако желательно произвести опыты, подтверждающие его и в лабораториях Г-н Белопольскому удалось придумать снаряд, который обещает дать, не превышая технических средств настоящего времени, скорость, сравнимую со скоростями космическими. Получить такую скорость до сих пор не представлялось возможности»[1].

Этот труднейший эксперимент был осуществлен А. А. Белопольским через несколько лет и дал блестящее доказательство справедливости принципа Доплера.

Среди хлопот о делах обсерватории Ф. А. Бредихин, конечно, не мог уделять много времени собственной научной работе. Однако успешно начатые им исследования о происхождении метеорных потоков настоятельно требовали дальнейшего развития, и Ф. А. Бредихин организует в 1890 г.— первые в России — коллективные наблюдения над потоком Персеид. В этих наблюдениях, осуществленных под его руководством и в после-

---

[1] Отчет за время с 1 сентября 1893 по 1 сентября 1894 года, стр. 31.

дующие годы, приняли участие, кроме него самого и пулковских адъюнктов и сверхштатных астрономов, офицеры-геодезисты, работавшие в Пулкове, и некоторые астрономы в других городах. Результаты наблюдений тщательно обрабатывались и публиковались Ф. А. Бредихиным в изданиях Академии Наук; они входят и в настоящий сборник.

В конце 1890 г было основано Русское астрономическое общество, объединявшее в своих рядах и астрономов-профессионалов и любителей астрономии. Первым председателем Общества был избран Ф. А. Бредихин. Выступая с речью на торжественном открытии Общества 20 марта 1891 г., Ф. А. Бредихин подчеркнул необходимость и своевременность открытия нового общества и отметил его роль в объединении множества любителей астрономии, рассеянных по России; вслед за тем он остановился на наблюдениях, доступных любителям, и указал на необходимость издания собственного журнала Общества. Председателем Общества Ф. А. Бредихин был недолго — около трех лет, а затем вышел из числа членов Общества. Позже, в 1898 г., Русское астрономическое общество избрало Ф. А. Бредихина своим почетным членом. Пока Ф. А. Бредихин был председателем, он, несмотря на трудности поездок из Пулкова, во всякое время года считал своим непременным долгом присутствовать на всех общих собраниях и заседаниях совета Общества. За три года он пропустил только одно заседание, заранее уведомив, что он болен. В это время он неоднократно докладывал Обществу о своих исследованиях над метеорными потоками. Вместе с Ф. А. Бредихиным многие пулковские астрономы стали членами Русского астрономического общества и приняли активное участие в его деятельности.

Подводя во втором отчете итоги сделанного в преобразованной Пулковской обсерватории, Ф. А. Бредихин с законной гордостью отмечает успехи новых сверхштатных астрономов.

«Сверхштатные астрономы наши оказали не только огромное содействие в редукции прежних рядов наблюдений,—

причем, как укажу ниже, приходилось с трудом разбираться в накопившейся путанице,— но и самостоятельно производили в то же время наблюдения при помощи всех главных инструментов Обсерватории с такою ревностью и уменьем, которые постоянно радовали меня до глубины души.

«Чтобы при своих специальных практических работах не отстать в теоретическом отношении, они организовали товарищеские научные беседы, в которых еженедельно, в особо отведенной для того комнате директорской квартиры, то тем, то другим из участвующих либо делалось сообщение по изученному предварительно интересному астрономическому вопросу, либо производился разбор новой астрономической работы и т. п.

«Понятно, что при подобных сообщениях живым словом, вместе с движением вперед в теоретическом отношении, развивается способность ясного и точного изложения.

«При таком порядке вещей наша Обсерватория является полезной школой для того, кому будет суждено со временем занять университетскую кафедру астрономии»[1].

Научные собеседования с молодыми астрономами, инициатором и душой которых был, конечно, Ф. А. Бредихин, привились хорошо, и уже в первом году было сделано 31 сообщение на разнообразные и подчас очень серьезные темы (названия их приведены Ф. А. Бредихиным в отчете). Мы упомянем только, что С. К. Костинский в двух докладах излагал бредихинскую теорию кометных форм.

Летом 1892 г. Ф. А. Бредихин второй раз в жизни ездил за границу, где он посетил обсерватории в Париже, Медоне, Гриниче, Потсдаме и Берлине. Из поездки он вернулся с убеждением, что астрофизический отдел Пулковской обсерватории не будет уступать заграничным учреждениям этого рода. На

[1] Отчет за время с 1 сентября 1891 по 1 сентября 1892 года, представленный Комитету Николаевской главной астрономической обсерватории ее директором, 1892, стр. 3—4.

следующее лето Ф. А. Бредихин побывал на Московской и Казанской обсерваториях.

«Отрадно видеть,— замечает он,— что то направление и те стремления, которые долгие годы поддерживались на Московской обсерватории, в настоящее время, под управлением проф. Цераского не только не оставлены, но плодотворно развиваются; в то же время и теснее становится связь ее с нашей обсерваторией»[1].

Подробное ознакомление с состоянием русских обсерваторий позволяет Ф. А. Бредихину бодро смотреть на будущее:

«Таким образом, следует ожидать, что в ближайшем будущем все русские обсерватории составят одну дружную семью, члены которой, вследствие различия в географическом положении и климате, призваны служить, так сказать, дополнением друг другу в общей научной деятельности»[2].

Это предвидение ученого-патриота вполне оправдалось после Великой Октябрьской социалистической революции, когда расширившаяся и многократно усилившаяся благодаря заботам партии и правительства семья обсерваторий СССР дружно взялась за огромную общую работу по созданию и развитию самой передовой в мире советской астрономической науки.

В последний раз за свое директорство Ф. А. Бредихин объехал русские обсерватории в 1894 г., снова посетив Москву, Харьков, Киев, Одессу и Николаев. Он опять отмечает оживленные сношения русских университетских обсерваторий с Пулковской обсерваторией и постоянный приток в Пулково молодых людей, желающих усовершенствоваться в той или другой области астрономии. При таких обстоятельствах Пулков-

---

[1] Отчет за время с 1 сентября 1892 по 1 сентября 1893 года, представленный Комитету Николаевской главной астрономической обсерватории ее директором, 1893, стр. 4.

[2] Там же, стр. 4—5.

ской обсерватории нечего было бояться недостатка в свежих научных силах.

Приведенные выдержки из отчетов Ф. А. Бредихина до некоторой степени показывают, как значительна была его организующая роль в развитии всей русской астрономии с конца XIX века в постановке новых актуальных научных задач, в создании новых кадров ученых. Эти заслуги Ф. А. Бредихина тесно связаны с его взглядом на высокое значение русской науки, который от него был воспринят его учениками.

Выступая с речью в память Ф. А. Бредихина в общем собрании Академии Наук 4 сентября 1904 г., академик А. А. Белопольский сказал о нем с гордостью следующие слова:

«Он с замечательной для своего времени энергией, можно сказать против течения, отстаивал научное национальное самосознание; его он всячески старалася внушить своим ближайшим ученикам: насколько он был скромен и требовал разумной научной скромности от своих учеников, настолько же он был врагом несправедливого унижения перед Западом в русских людях.

«Эта черта с особою силою сказалась при кратковременном управлении им Пулковскою обсерваториею: нужно сознаться, что подъем духа тогда у всех его сотрудников был совершенно необычайный, и если взглянуть с точки зрения развития науки в России, то следует с глубокой благодарностью зачесть Ф. А. Бредихину сказанное как одну из крупных его заслуг перед отечеством»[1].

Энергично осуществлявшиеся Ф. А. Бредихиным перемены в Пулковской обсерватории не могли происходить без трений, чего он и сам не желает скрывать:

«Было бы противно чувству правдивости, если бы я умолчал о том, что при происходивших переменах в личном составе обнаружились некоторые шероховатости во взаимных отношениях и что пришлось подметить также некоторые

[1] А. А. Белопольский, цит. соч., стр. III.

фтонерические[1] проявления отчасти там, где они более всего не желательны.

«Но нескольких штрихов достаточно было, чтобы изгладить совершенно эти шероховатости, что же касается до сказанных нездоровых проявлений, то считаю долгом моим отодвинуть их далее заднего плана...»[2].

К неприятностям, испытанным Ф. А. Бредихиным в Пулкове, прибавилась усталость от административных обязанностей, которые он добросовестно выполнял. Слишком часто приходилось ему сталкиваться с бюрократической рутиной, непониманием его идей. Все это, вместе с постоянными поездками из Пулкова в Петербург при любой погоде, подорвало здоровье уже старого ученого и привело его к решению уйти из Пулковской обсерватории. По свидетельству П. К Штернберга, это была его первая болезнь, а до того Ф. А. Бредихин отличался удивительным здоровьем, основанным на правильном образе жизни. Ф. А. Бредихин покинул пост директора Пулковской обсерватории 1 февраля 1895 г.

Преобразования, проведенные Ф. А. Бредихиным, успели достаточно укрепиться за почти 5 лет его директорства, и в дальнейшем деятельность обсерватории продолжала развиваться в установленном им направлении. С течением времени в ее состав вступило немало молодых талантливых русских астрономов, все более расширялся круг научных задач, обогащалось оборудование, были созданы и росли отделения обсерватории на юге. Однако настоящий расцвет Пулковской обсерватории падает на советский период ее истории.

---

1 φθονερός — завистливый.

2 Отчет за время с 1 сентября 1893 по 1 сентября 1894 года, представленный Комитету Николаевской главной астрономической обсерватории ее директором, 1894, стр. 7.

Переехав в Петербург, Ф. А. Бредихин смог целиком отдаться любимым научным занятиям В качестве члена Комитета Пулковской обсерватории он продолжал живо интересоваться ее деятельностью и во многих случаях оказывал ей поддержку своим авторитетом. Он содействовал в 1896 г. открытию отделения обсерватории в Одессе, помогал организации экспедиции на Новую Землю для наблюдения солнечного затмения и позже геодезической экспедиции на Шпицберген; он поддерживал хлопоты об увеличении пенсий астрономам. Он выдвинул в 1900 г. кандидатуру А. А. Белопольского в адъюнкты Академии Наук. В Академии он учредил крупную премию за работы по теории кометных форм и помимо этого материально помогал молодым ученым в их деятельности. Он при случае делал Пулковской обсерватории ценные подарки книгами, но важнейшим его даром явилось в 1902 г. пожертвование 1500 рублей на приобретение короткофокусного астрографа. Этот прекрасный инструмент, впоследствии получивший название «Бредихинский астрограф», был тогда же заказан и получен в Пулкове 1 мая 1904 г. — по случайному совпадению в самый день смерти Ф. А. Бредихина.

В свою очередь Пулковская обсерватория старалась увековечить память о своем знаменитом директоре. Уже в 1897 г. портретная галлерея обсерватории украсилась портретом Ф. А. Бредихина. Позже, в 1907 г., пулковские ученики Ф. А. Бредихина подарили обсерватории для астрофизической лаборатории большой фотопортрет покойного учителя и поместили под ним простую надпись: первый русский астрофизик.

После переезда в Петербург здоровье Ф. А. Бредихина продолжало оставаться неудовлетворительным, и в 1896 г. он отправился по рекомендации врачей на юг, в Одессу. Там осенью 1898 г. скончалась его жена. Ф. А. Бредихин возвратился в Петербург, где и провел остальные годы жизни, выезжая летом в свою усадьбу «Погост» на берегу Волги. Несмотря на тяжесть

одиночества, он не утратил былой энергии и продолжал неутомимо работать. С неослабевающим энтузиазмом он вел до своих последних дней теоретические исследования, а статьи его попрежнему соединяли глубину содержания с литературным блеском.

«...Получив какой-нибудь новый результат, одолев встретившуюся трудность, он спешит поделиться своею радостью с другими, причем все его письма дышат бодрым духом и непоколебимой верой в могущество и будущность науки»[1].

Важнейшие труды Ф. А. Бредихина, выполненные в Пулкове и Петербурге, относятся к теории метеорных потоков, начиная со статьи «Персеиды, наблюдавшиеся в России в 1890 г.». Они появились в «Известиях Академии Наук» и приведены в русском переводе в настоящем сборнике, включая последнюю статью — «Кажущееся смещение максимума в потоке Персеид», над которой Бредихин работал еще в 1904 г., перед самой смертью, но не успел передать в печать. В этих статьях дано полное развитие его теории происхождения метеоров и периодических комет. Особенно глубокое впечатление в свое время произвела (см. примеч. 126) опубликованная в 1900 г. и написанная с изумительной силой и изяществом критическая работа «Сложные (так называемые неподвижные) радианты падающих звезд», которая была направлена как против существования стационарных радиантов вообще, так и специально против гипотезы английского астронома Тернера, якобы их объясняющей. Важное значение имеют также работы о возмущениях потоков Персеид и Андромедид (Биелид) и о влиянии Юпитера на образование метеорных потоков.

Исследования Ф. А. Бредихина о кометах приобрели известную законченность еще в московский период. В последующие годы он преимущественно занимался теми усовершенствованиями теории, которые могли быть получены из наблюдений

[1] С. К. Костинский, цит. соч., стр. 27.

новейших комет; основные принципы при этом оставались незыблемыми. Новым явилось использование фотографии для изучения кометных хвостов.

В 1891 г. Бредихин опубликовал работу о необычайных явлениях, наблюдавшихся в большой комете 1882 II. Странная форма световых явлений вокруг головы кометы объясняется Ф. А. Бредихиным тем, что рядом с главной кометой существовала отделившаяся от нее вторичная комета, начавшая двигаться самостоятельно и образовавшая в свою очередь два хвоста. В 1944 г. С. В. Орлов исследовал хвост этой кометы методом обратного проектирования. Земля была в эпоху наблюдений близка к плоскости кометной орбиты. Громадный хвост II типа сильно кривился, и голова кометы была видна с Земли на фоне отдаленных частей хвоста. Этим, повидимому, и объясняются странные светящиеся образования, наблюдавшиеся около головы кометы. Между 1894 и 1901 гг. Ф. А. Бредихин исследовал несколько комет, появившихся в то время. Для кометы 1893 II им была получена, по движению облачных образований в хвосте, величина отталкивательного ускорения, равная 36 по отношению к силе притяжения Солнца, то-есть в 2 раза превышающая ранее выведенную величину отталкивательного ускорения для хвоста I типа. Последнее обстоятельство вызвало у Ф. А. Бредихина некоторые сомнения в правильности полученного результата, однако впоследствии они рассеялись, когда он нашел в 1904 г. для кометы 1903 IV еще бо́льшую численную величину отталкивательного ускорения, порядка около 70 (Известия Академии Наук, 1903, т. XX, № 1, стр. 41). Чтобы объяснить эти неожиданно большие отталкивательные ускорения (36 и 72), Ф. А. Бредихин предположил, что обычная величина отталкивания для хвостов I типа, равная 18, соответствует не молекуле водорода, как он прежде принимал, а молекуле незадолго перед тем открытого гелия.

«Эта последовательность величин силы,— пишет он (там же, стр. 46),— позволяет нам расширить соображения, в которых мы видим как бы иллюстрацию к нашим механическим

исследованиям кометных явлений. Если допустить параллель между всеми известными значениями отталкивательной силы в кометах, с одной стороны, и, с другой стороны, весами химических молекул и их соединений, два новых значения силы, в этой параллели, могут быть отнесены к молекулам водорода и к продукту их диссоциации» (то-есть к атомам водорода).

Эта статья «Sur les grandes valeurs de la force répulsive du Soleil» явилась последним печатным трудом Бредихина.

Значительно ранее он напечатал статью «О попытках экспериментального воспроизведения кометных явлений» (Bulletin de l'Acad. des Sciences, 1898, vol. VIII, № 3, p. 173—189), направленную против объяснения кометных хвостов действием катодных лучей, исходящих от Солнца, как это предлагал немецкий физик Гольдштейн. Наряду с критикой Гольдштейна, Ф. А. Бредихин кратко и выразительно формулирует исходные положения развитой им теории кометных форм и дает обзор самых разнообразных явлений, ею объясняемых.

29 декабря 1893 г. Ф. А. Бредихиным была прочитана на публичном заседании Академии Наук замечательная речь «О физических переменах в небесных телах», напечатанная отдельным изданием. В ней он выделил и описал два класса небесных тел, подверженных бросающимся в глаза физическим переменам: новые звезды и кометы. Указав на наблюдаемые в них явления, он говорит:

«Можно считать весьма вероятным, что при вышеупомянутых изменениях в небесных телах во многих случаях играли роль и действия химические, но по дальности расстояния для нас на первый план выступают изменения физические и заслоняют, так сказать, собою процессы химические.

«Излишне говорить здесь о важности изучения изменений в телах природы вообще: в них, в этих изменениях, ярче выступают для нас как строение и свойства тел, так и действия

тех сил, которые при этом проявляются и развиваются» (стр. 3—4).

Говоря об энергии, проявляющейся в частицах кометного хвоста, он считает, что ее можно признать за электричество, но сейчас же ссылается на работу П. Н. Лебедева «Об отталкивательной силе лучеиспускающих тел», появившуюся в 1891 г., и добавляет:

«Быть может, вполне или отчасти роль электричества играет тут та отталкивательная сила, которую можно искать в световых и тепловых лучах Солнца» (стр. 12)[1].

Описав явления, представляемые кометами и метеорами, и дав им объяснение с точки зрения разработанных им теорий, Бредихин делает следующее интересное для космогонии замечание:

«Бросая взгляд на сказанное о кометах, замечаем какую-то загадочную роль их в экономии солнечной системы. Солнце разрежает их вещество и производит как бы просевание его: части, наиболее измельченные, разреженные в молекулы, отбрасываются его отталкивательной силой в глубину пространства; части, более крупные и тяжелые, остаются навсегда в нашей системе и снуют в ней повсюду в виде метеоров, падают на Землю и на планеты, — могут падать и на Солнце, — и микроскопически, можно сказать, увеличивают их массы» (стр. 31).

Обращаясь в заключение к незадолго до того появившейся новой звезде в созвездии Возничего, Ф. А. Бредихин излагает предложенную по ее поводу А. А. Белопольским гипотезу о тесном сближении двух звезд, причем меньшая звезда проникает в газовую оболочку большей звезды, и заканчивает речь следующими знаменательными словами:

«Быть может, только сопоставление и сравнительное спектральное изучение десятков случаев новых звезд даст возможность остановиться на той или другой гипотезе и составить полное и верное представление о происходящих тут про-

[1] Как хорошо известно, уже после этого П. Н. Лебедев экспериментально доказал существование светового давления.

цессах, может быть, очень сложных и разнообразных в частностях.

«Здесь мы стоим, очевидно, на рубеже знания, за которым начинается область неведомого, и дальнейшее движение в ней, быть может, откроет, увы! еще бо́льшие трудности.

«Едва ли, впрочем, уместен здесь возглас сожаления.

«Кому удавалось в жизни — после трудов, усилий и сомнений — угадать, найти хоть малую крупицу общей истины — в науке или в искусстве,— тот помнит, какие светлые минуты переживал он. Не тогда ли он жил вполне лучшей частью своего существа?

«В необъятной вселенной безмерно долгое время будут возникать для нас один за другим новые и нерешенные вопросы, и таким образом пред человеком лежит уходящий в бесконечность путь научного труда, умственной жизни с ее тревогами и наслаждениями» (стр. 42).

В этих проникновенных фразах выражен не только оптимизм, свойственный лучшим представителям передовой русской материалистической науки, но и твердое убеждение в познаваемости бесконечного мира и в бесконечности процесса человеческого познания. Недаром К. А. Тимирязев цитирует это место в своей статье «Витализм и наука» и добавляет:

«Это говорит академик Бредихин. Какою бодростью духа, только подстрекаемой в борьбе возрастающими трудностями, звучат эти слова, какою смелою уверенностью, что наука справится завтра со своими более сложными задачами, потому что ее прошлое служит порукой за ее будущее! И как отличается это ясное, спокойное настроение уже немолодого астронома от растерянности молодого защитника витализма, мечущегося из стороны в сторону...».

К концу жизни Ф. А. Бредихина его научное наследие стало настолько велико, что настоятельно потребовалось свести воедино его важнейшие труды. Об этом его давно просили его ученики, это сознавал он сам и успел столь важное дело довести

до конца. К 1903 г. он просмотрел свои исследования о метеорных потоках и периодических кометах, внес в них необходимые исправления и дополнения и издал их в хронологическом порядке в одном большом томе под заглавием «Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants», 1903. Книга эта впервые появляется в русском переводе в настоящем сборнике; о ее значении вполне справедливо сказал В. К. Цераский:

«Она достойна особого внимания молодых ученых, ибо представляет собою неисчерпаемый источник дальнейших исследований в этой области»[1].

Что же касается работ Ф. А. Бредихина о кометах, то они составили бы, взятые вместе, несколько больших томов. По этой причине нужно было дать систематическое изложение всего этого громадного научного материала. В выполнении этой ответственной задачи Ф. А. Бредихин получил помощь со стороны родной ему Московской обсерватории.

Покинув Москву в 1890 г., Ф. А. Бредихин с теплым чувством вспоминал о Московской обсерватории и часто навещал ее при летних выездах из Пулкова и Петербурга. В 1902 г. он учредил при Московском университете в память своей покойной жены Анны Дмитриевны Бредихиной стипендию, предназначенную лицам, окончившим университет и избравшим астрономию своей специальностью, с целью оказать им пособие в занятиях по астрономии в России или во время заграничной командировки[2]. (Первыми бредихинскими стипендиатами были С. Н. Блажко в 1902 г. и С. А. Казаков в 1903 г.) Для обеспечения выдачи стипендии Ф. А. Бредихин оставил по завещанию Московскому университету 13 000 рублей. Сверх этого в том же 1902 г. он учредил премию в 2 000 рублей при Московской обсерватории в память своего погибшего сына Дмитрия. Приведем некоторые пункты положения о премии:

---

[1] В. К. Цераский, цит. соч., стр. 476.
[2] С. Н. Блажко, цит. соч., стр. 87—88.

«2) Сочинение на премию должно представить в надлежащей системе и полноте результаты, добытые акад. Бредихиным при механических исследованиях развития кометных форм. При этом должны быть изложены также все формулы, которыми пользовался акад. Бредихин при своих исследованиях. 3) Сочинение не должно ограничиваться математическими построениями явления в общих чертах для всех комет, но в нем с возможной тщательностью, в особой главе, должны быть приведены все особенности, которые обнаружились в различных кометах из всех, подвергнутых исследованию акад. Бредихиным. К таким особенностям относятся, например, различия в образовании истечений, колебания этих последних, форма хвоста в виде буквы гамма, изохронные полосы и коноиды, спектры ядра, головы и хвоста, сгущения вещества в хвосте (например, облака Шмидта) и их перемещение в пространстве и относительно ядра и т. д., а также мелкие соображения, высказанные акад. Бредихиным относительно какой-нибудь замечательной черты в той или другой комете. Руководящие указания можно отчасти найти в статье акад. Бредихина «Искусственное воспроизведение кометных явлений» (Bulletin de l'Acad. des Sciences de St.-Pét., 1898)»[1].

Ф. А. Бредихин считался с возможностью, что премия будет присуждена не скоро. К его удовольствию, В. К. Цераский сообщил, что с поставленной задачей мог бы справиться молодой московский астроном Р. О. Егерман. Действительно, последний успел в короткий срок провести всю работу под непосредственным руководством самого Бредихина, и уже в 1903 г. было издано обширное сочинение: «Prof. Dr. Th. Bredichin's Mechanische Untersuchungen über Cometenformen. In systematischer Darstellung von R. Jaegermann», 1903.

Ценность этой книги заключается прежде всего в том, что ее содержание было согласовано с Ф. А. Бредихиным (который, между прочим, неоднократно цитирует ее в своей последней

[1] С. Н. Блажко, цит. соч., стр. 87—88.

работе о больших величинах отталкивательной силы Солнца). Кроме того, Р. О. Егерман писал ее очень добросовестно, поэтому она является прекрасным пособием для тех, кто желает изучить во всех подробностях труды Ф. А. Бредихина о кометах. Но для первоначального ознакомления с идеями и результатами бредихинской теории она несколько громоздка, так как в ней содержится много мелких подробностей и утомительных повторений, неизбежно вызванных самим ее характером.

Книга эта разделена на три части. В первой из них речь идет о физико-химическом строении комет и их хвостов; вторая часть дает краткий исторический обзор важнейших теорий кометных форм до 1875 г., причем во втором разделе этой части описывается первый период деятельности Ф. А. Бредихина. Почти две трети всего тома, содержащего 500 страниц, занимает третья часть, посвященная механическим исследованиям Ф. А. Бредихина над кометными формами с 1875 по 1903 г. Таким образом, сюда не вошла только последняя его работа о больших отталкивательных силах.

Просматривая оба тома, содержащие исследования Ф. А. Бредихина о метеорных потоках и кометах и как бы подводящие итог всей его жизни, нельзя не удивляться ясности и глубине его мысли, стройности теории, созданной на прочной материалистической основе, умению диалектически рассматривать явления природы в их движении и развитии, громадной эрудиции и вниманию к мелким, на первый взгляд, фактам. Ф. А. Бредихин не оставлял без объяснения даже незначительных подробностей явлений, наблюдавшихся у комет и падающих звезд, поэтому его труды служат поучительным примером непрестанно осуществляемой связи между теорией и наблюдениями, — образцом того, как надо работать над астрономическими проблемами. Применяя метод небесной механики к движениям частиц комет и метеорных потоков, он стремился выяснить отсюда физическую природу и химический состав этих тел, их происхождение и развитие, их роль во вселенной. Полемизируя с теми, кто отрицал материальность кометных

хвостов, он доказывал, что мы наблюдаем в них движение материи, что это не только неоспоримо подтверждается спектральными наблюдениями, но и тем успехом, с которым его механическая теория изучает и объясняет все особенности движения этих материальных, весомых частиц. Именно поэтому труды Ф. А. Бредихина о кометах сохраняют непреходящее значение, а беспочвенные спекуляции его научных противников давно забыты.

Кроме того, надо иметь в виду, что в те годы вопросы строения Солнца, планет, звезд и туманностей, несмотря на обилие уже полученного из астрофизических наблюдений материала, были очень далеки от правильного теоретического объяснения. Первым был разработан в теоретическом отношении раздел астрофизики, трактующий о кометах, поэтому его создатель Ф. А. Бредихин может быть назван основателем теоретической астрофизики. Им был открыт правильный путь для дальнейших работ в области изучения комет, в которой русские и советские ученые сделали важнейшие открытия и обобщения и, конечно, этим добавили много нового к взглядам Ф. А. Бредихина.

В двадцатых числах апреля 1904 г. чувствовавший до того себя бодрым Бредихин простудился, но затем ему стало лучше, и он начал снова работать. Однако выздоровление было временным, и 28 апреля, когда он хотел выйти из дому, с ним случился уже серьезный приступ удушья, за которым последовал усиливавшийся упадок сил. Через два дня, 30 апреля, он виделся в последний раз с С. К. Костинским и даже смог поговорить с ним об особенностях движения незадолго перед тем открытой новой кометы. На следующий день у него пошла кровь горлом, и в 5 часов 40 минут вечера 1 (14 н. ст.) мая 1904 г., на семьдесят третьем году жизни, Федор Александрович скончался.

3 мая в Петербурге члены Академии Наук с президентом во главе, все без исключения астрономы Пулковской обсерва-

тории, родственники и множество людей, желавших почтить память покойного, провожали тело Ф. А. Бредихина до вокзала. На следующий день в Москве прах знаменитого русского ученого встречали представители Московского университета, представители ученых обществ Москвы, бывшие ученики, родственники и почитатели. 7 мая Ф. А. Бредихин был похоронен в семейном склепе в Погосте, около Кинешмы.

За громадные заслуги перед наукой Ф. А. Бредихин был избран почетным членом многих научных обществ. В организации некоторых из них он сам принимал деятельное участие или способствовал их открытию своим авторитетом.

В 1862 г. он был избран членом Московского общества испытателей природы;

в 1864 г. он участвовал в основании Московского математического общества;

в 1877 г. он был избран членом-корреспондентом Академии Наук;

в 1883 г. — действительным членом Леопольдино-Каролинской академии естествоиспытателей в Галле;

в 1884 г. — членом-корреспондентом (Associate) Королевского астрономического общества в Лондоне;

в том же году — членом-корреспондентом Астрономического общества в Ливерпуле;

в 1886 г.— почетным членом Московского общества испытателей природы;

в том же году — президентом этого общества;

в 1888 г. при его поддержке возник Нижегородский кружок любителей физики и астрономии (ныне Горьковское отделение Всесоюзного астрономо-геодезического общества);

в том же году он был избран почетным членом этого кружка;

в 1889 г. — членом-корреспондентом Общества итальянских спектроскопистов;

в том же году — членом-корреспондентом Математического и ествественно-научного общества в Шербуре;

в 1890 г.— ординарным академиком Академии Наук;

в том же году — членом и первым председателем только что организовавшегося Русского астрономического общества;

в 1891 г.— почетным членом Харьковского университета;

в том же году — почетным членом Русского географического общества;

в 1892 г.— доктором философии университета в Падуе (по случаю трехсотлетнего юбилея вступления Галилео Галилея в число профессоров этого университета);

в 1894 г. — членом-корреспондентом Бюро долгот в Париже;

в 1897 г. — почетным членом Московского университета;

в 1898 г. — почетным членом Русского астрономического общества.

Как указывает С. В. Орлов, всего Ф. А. Бредихиным было написано 210 научных работ, около 10 популярных статей, сделано 3 перевода из итальянской литературы и 5 организационных заметок[1].

В появившихся после смерти Ф. А. Бредихина некрологах и в биографиях значительно более позднего времени отражены и многие черты его как человека. Частично эти ценные воспоминания людей, знавших Ф. А. Бредихина близко, уже были использованы выше; все же представляет интерес сделать некоторые добавления. Так, С. К. Костинский пишет:

«При всем своем огромном таланте, при всем том заслуженном почете, которого он достиг, Ф. А. был всегда очень скромен, отнюдь не выставлялся и всегда сознавался в своих ошибках, если ему случалось их делать. А все это есть именно черты, характеризующие *истинного* ученого!..

«Имея богатое и живое воображение и огромный запас идей, он всегда был готов поделиться ими со всяким человеком,

[1] С. В. Орлов. Федор Александрович Бредихин. 1831—1904. Изд. МГУ, 1948.

действительно интересующимся делом, но никогда не напускал на себя важности и недоступности. Даже самая обстановка его скромного кабинета не имела традиционного вида и не указывала на беспрерывные научные занятия: он не обкладывался книгами, не накоплял их целыми массами, как делают это другие (хотя часто и не читают их!), напротив даже — постоянно раздавал своим ученикам и знакомым бóльшую часть той массы различных изданий, которые присылались ему со всех концов света; себе же он оставлял только то, что имело непосредственное отношение к его работам, но зато уж здесь собирал *всё* и аккуратно хранил это в небольшом скромном шкапике, где прятались также и его многочисленные вычисления. И сейчас перед моими глазами лежит дорогое воспоминание о покойном учителе в виде целого ряда папок с надписями, сделанными его рукой, и содержащих аккуратно подобранные и подклеенные рисунки, статьи, чертежи, заметки и т. п., относящиеся к различным кометам, им исследованным!...»[1]

«...Ф. А. сейчас же охладевал и отворачивался, если видел, что на науку и научную работу смотрят *только* как на «средство», а не как на «цель»! Ему были противны, в высшей степени, все попытки прикрывать научной тогой мелкие земные интересы и эгоистическую борьбу самолюбий... и именно этим объясняются все случаи его охлаждения к отдельным личностям, или даже к целым кружкам, которых он сперва горячо поддерживал»[2].

Сложность натуры Ф. А. Бредихина подчеркивает В. К. Цераский, знавший его с более ранних лет, чем другие биографы:

«Выяснение его заслуг составит благодарную и далеко не самую трудную задачу будущего биографа, ибо Ф. А. был бесспорно замечательный ученый, соединяющий в себе все необходимые для этого данные; несравненно труднее будет

[1] С. К. Костинский, цит. соч., стр. 11—12.
[2] Там же, стр. 26.

выяснить его характер как деятеля за пределами рабочего кабинета.

«Отлично образованный, живой, с ясно выраженными поэтическими способностями, нервный и увлекающийся, Ф. А. не может быть охарактеризован в нескольких словах»[1].

Тщательно, с глубоким чувством рисует облик своего учителя П. К. Штернберг в речи, произнесенной 3 октября 1904 г. на годичном заседании Московского общества испытателей природы, посвященной памяти Ф. А. Бредихина. Приведем оттуда некоторые места:

«В домашней семейной обстановке Феодор Александрович был необыкновенно привлекателен, всегда оживленный, веселый и добродушный. Личность его неудержимо привлекала к себе всех окружающих, чувствовался большой талант»[2].

«Бредихин по своей натуре был чрезвычайно увлекающимся и нервным; он всегда увлекался чем-нибудь и кем-нибудь. Эти увлечения доходили даже до самообмана»[3].

Сам превосходный музыкант, П. К. Штернберг часто музицировал с Ф. А. Бредихиным.

«Из развлечений Феодор Александрович любил музыку. Он сам играл на скрипке. В этой игре на скрипке сказывалась вся его своеобразная увлекающаяся натура. Обыкновенно в 9 часов вечера раздавался условленный стук ногой,— моя квартира находилась как раз под квартирой Бредихина,— это Феодор Александрович проснулся после послеобеденного отдыха и приглашает меня на музыкальное состязание. Обыкновенно я ему аккомпанировал на рояле или играл с ним дуэт на каком-нибудь другом инструменте. Понравится Феодору Александровичу какая-нибудь нота, увлечется ею и тянет 2, 3, 4 такта, хотя бы это была только восьмушка. На мои возражения против такого произвола Феодор Александрович начинал

[1] В. К. Цераский, цит. соч., стр. 470.
[2] П. К. Штернберг, цит. соч., стр. 40.
[3] Там же, стр. 39—40.

спорить, что это красиво и лучше, если эту ноту тянуть дольше. Но наши споры всегда кончались к обоюдному удовольствию. Затем мы уже так сыгрались, что чувствовали друг друга. Наша игра доставляла нам большое удовольствие, но не думаю, что это было так и для наших слушателей»[1].

В свою очередь А. А. Белопольский указывает на литературный талант Бредихина и основательное знание им древних языков и добавляет:

«Глубокий знаток и ценитель русского языка и русской литературы, он внимательно следил за ее успехами, отмечая все талантливое и беспощадно критиковал бездарное»[2].

Много позже, уже в старости, вспоминая события полувековой давности, А. А. Белопольский с большим чувством изобразил свои первые посещения Московской обсерватории в середине 70-х годов, во время самого расцвета научной деятельности Ф. А. Бредихина.

«...Проведенные во время практических занятий минуты на обсерватории произвели на меня чрезвычайно сильное, чарующее впечатление: в теплые осенние ясные дни мы, студенты (человека 4), брали в течение многих недель околомеридианные высоты Солнца кругами Пистора и Мартинса. Полная тишина кругом, лишь из квартиры А. И. Громадзкого льются широкие волны звуков фисгармонии, на небе ни облачка, осенняя паутина лениво пролетает в воздухе. Вид с восточной террасы обсерватории на реку Москву и на город — очаровательный. От времени до времени приходил Ф. А. Бредихин с сигареткой в зубах, в бодром и веселом настроении, и справлялся громко, как идут наблюдения? Пересыпая остроумными анекдотами беседу, он поддерживал наш пыл при работе. Близость этого высокоталантливого человека подливала свою долю очарования пребыванию на обсерватории»[3].

---

[1] П. К. Штернберг, цит. соч., стр, 40.

[2] А. А. Белопольский, цит. соч., стр. II

[3] С. Н. Блажко, цит. соч., стр. 64.

На Московской обсерватории встретился с Бредихиным и С. В. Орлов, о чем он кратко вспоминает в статье к столетию со дня рождения Бредихина:

«Я видел Бредихина только раз в Москве, на обсерватории, незадолго до его смерти: бодрый, с живыми серыми глазами, с гордо поднятой головой, он производил впечатление незаурядного человека. Помню удивившую меня приветливость, с которой он обратился ко мне, молодому, еще ничем не проявившему себя астроному»[1].

В заключение приведем оценку, которую дал П. К. Штернберг Ф. А. Бредихину в конце упомянутой выше речи:

«Он был один из тех людей, которые, повидимому, предназначены показать возможную меру интеллектуальных сил человека»[2].

Таковы свидетельства современников о прославленном русском астрономе и одном из замечательнейших деятелей своего времени — Федоре Александровиче Бредихине.

В 1954 г. исполнилось пятьдесят лет со дня смерти Ф. А. Бредихина. Советская астрономия может гордиться тем, что она оправдала надежды ученого-патриота. Трудами учеников Ф. А. Бредихина и следующего поколения советских ученых астрофизика в Советском Союзе в своем бурном развитии в ряде важнейших областей ушла далеко вперед против зарубежных стран. Восстановленная из развалин Пулковская обсерватория стала грандиозным научным учреждением, центром советской астрономии. В исследованиях лауреата Сталинской премии, члена-корреспондента Академии Наук СССР С. В. Орлова и его учеников, а также советских астрономов, занимающихся изучением метеоров, получили дальнейшее успешное развитие основные идеи бредихинской теории кометных форм и теории падающих звезд.

---

[1] С. В. Орлов. Ф. А. Бредихин (К столетию со дня рождения). Мироведение, т. XX, № 3—4, 1931, стр. 54.

[2] П. К. Штернберг, цит. соч., стр. 47.

Исключительные заслуги Ф. А. Бредихина в развитии отечественной астрономии были в 1946 г. ознаменованы Президиумом Академии Наук СССР учреждением премии имени Ф. А. Бредихина, присуждаемой за выдающиеся работы по астрономии, выполненные советскими учеными.

КОММЕНТАРИЙ К КНИГЕ «ЭТЮДЫ О ПРОИСХОЖДЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ МЕТЕОРОВ И ОБРАЗОВАНИИ ИХ ПОТОКОВ»

Многочисленные исследования Ф. А. Бредихина, посвященные происхождению метеорных потоков в солнечной системе, представляют единое целое. Новая мысль о возникновении метеорных роев путем истечений твердых телец из ядер комет,— истечений, иногда представляющихся глазам астрономов в виде аномальных хвостов, всесторонне развивается Ф. А. Бредихиным, доводится после обширных вычислений до объяснения многих особенностей явлений метеоров и связывается с происхождением периодических комет и их распадом. Отдельные статьи Ф. А. Бредихина по этим вопросам появлялись в свет между 1888 и 1902 гг. сначала в «Анналах Московской обсерватории», затем в «Известиях Академии Наук». Извлечения из некоторых статей были помещены также в иностранных журналах. В частности, в «Astronomische Nachrichten» (B. 120, 1888, SS. 249—252) и в «Bulletin Astronomique» (t. V, 1888, pp. 521—523) была напечатана хронологически первая статья Ф. А. Бредихина о новой теории происхождения метеоров «Quelques remarques sur l'origine des météores», в которой он на двух страницах излагает важнейшие положения своей большой работы, появившейся немного позже и вошедшей в настоящую книгу под названием «Происхождение космических метеоров».

Первый астрономический журнал в России начал издаваться Русским астрономическим обществом в 1892 г. В первом его выпуске раздел астрономических сообщений начинается статьей председателя Общества Ф. А. Бредихина «Теория выделения метеоров из комет» [1]. В ней он дает

[1] Известия Русского астрономического общества, вып. 1, стр. 41—116, 1892. Цитируется далее как «Теория метеоров».

для широкого круга лиц, интересующихся астрономией, сокращенное (местами почти дословное) изложение ранних своих статей о падающих звездах и периодических кометах, именно: «О происхождении падающих звезд», «О важных свойствах метеорных потоков», «О происхождении периодических комет», «О Персеидах, наблюдавшихся в России в 1890 г.», «О радиантах Андромедид», «О рассеянии радиантов».

В конце жизни, в 1903 г., Ф. А. Бредихин собрал и издал все свои труды о метеорах в книге «Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants», St.-Pétersbourg, 1903. Как он сам указывает в примечании в начале книги (см. стр. 8), он не смог найти времени для систематического изложения всех своих исследований и приводит их в хронологическом порядке с некоторыми исправлениями и сокращениями. Помимо внесения небольшого числа фактических поправок, Ф. А. Бредихиным были немного изменены названия отдельных статей. Первоначальные их названия могут быть найдены в прилагаемом ниже списке трудов Ф. А. Бредихина о метеорах и периодических кометах. Здесь мы укажем лишь на единственное существенное изменение. Первая работа, в которой Ф. А. Бредихин выдвигает новую теорию метеорных потоков, называлась «О происхождении падающих звезд». В 1903 г. она получает новое заглавие — «Происхождение космических метеоров», более полно характеризующее ее значение и определяющее название всей книги. Сокращения, сделанные автором, коснулись большинства параллелизмов в изложении, а также подробностей наблюдений над падающими звездами, которые теперь уже не могут представлять интереса.

Последнюю свою работу — «Кажущееся смещение максимума в потоке Персеид» — Бредихин готовил к печати в конце 1903 и начале 1904 г., но не успел опубликовать. Мы сочли необходимым поместить ее в конце книги, хотя она и не была окончательно отшлифована. Она служит прямым продолжением предыдущих исследований Бредихина и до сих пор в печати не появлялась. Вместе с ней помещается ранняя популярная статья Бредихина «Падающие звезды», опубликованная в 1871 г.; в ней хорошо обрисован уровень знания о метеорах вскоре после сделанных в 1860-х годах важных открытий, установивших связь метеорных потоков с кометами. Статья эта была написана еще до того, как сам Ф. А. Бредихин занялся проблемой метеоров.

Перевод «Études...» дается нами полностью, хотя некоторые немногие подробности в этой книге потеряли свою актуальность. Нежелательно было сокращать тот текст, про который Ф. А. Бредихин сам говорит, что читатель сможет увидеть в нем последовательное развитие идей автора (см. стр. 8). Именно в этом чрезвычайная поучительность книги о метеорах: мы как бы входим в самую лабораторию творческой мысли Ф. А. Бредихина. Многочисленные имеющиеся в тексте ссылки на более

ранние статьи книги также затруднили бы сокращение. Все цитаты, приведенные на английском, немецком и итальянском языках, переведены на русский; то же относится к немногим латинским выражениям[1] (за единственным исключением на стр. 364). Наоборот, ссылки на литературу (в том числе и на работы самого Бредихина до 1894 г.) оставлены в подлиннике. Следует отметить, что «Известия Академии Наук», в которых после 1890 г. помещались статьи Ф. А. Бредихина, стали с 1894 г. печататься в основном на русском языке (до тех пор они выходили под французским названием). В них с этого времени помещены краткие русские резюме некоторых статей Ф. А. Бредихина, откуда нами заимствованы заглавия этих статей; эти русские заглавия принадлежат, следовательно, самому Ф. А. Бредихину. В тексте исправлены опечатки и некоторые мелкие погрешности, приведены в порядок отдельные неверно сверстанные таблицы.

Кроме того, приведено к единообразию написание тригонометрических функций, а также устранены излишние точки, фигурирующие местами как знаки умножения. Вообще в написании формул Ф. А. Бредихин не придерживался педантически одних и тех же правил. Так как многие формулы в его книге написаны в современном виде, мы сочли возможным сделать то же самое и для остальной части формул, впрочем не выходя за пределы указанных выше незначительных изменений.

Ниже даются примечания к отдельным местам текста.

[1] (Стр. 9). Мы переводим французские слова come, queue — кома, хвост. Вот что замечает по этому поводу Ф. А. Бредихин в 1893 г.:

«Придаток этот называют хвостом, хотя естественнее было бы назвать его волосами, комой, ибо комета — волосатая, получила свое название от этого придатка»[2].

В первых статьях о метеорах и происхождении периодических комет, напечатанных в 1889—1890 гг. в «Анналах Московской обсерватории» и в «Известиях Московского общества естествоиспытателей», Ф. А. Бредихин предпочитает пользоваться словом «кома», а в 1903 г., подготовляя книгу о метеорах к печати, он счел нужным добавить примечание:

«Термин «кома» был бы предпочтителен перед термином «хвост»» (см. стр. 77).

Однако Ф. А. Бредихин возвращался к употреблению обычного выражения «хвост кометы», как это можно видеть, между прочим, по более поздним статьям книги о метеорах и по другим его статьям, опубликованным

---

[1] Они даны в примечаниях в подлиннике.

[2] Ф. А. Бредихин. О физических переменах в небесных телах. 1893, стр. 9.

на русском языке [1]. По существу нельзя не согласиться,— и не только с филологической точки зрения,— что однажды предлагавшаяся Ф. А. Бредихиным терминология, в которой совместно фигурируют голова и волосы, много естественнее укоренившегося словосочетания, довольно комичным образом соединяющего голову кометы прямо с хвостом.

[2] (Стр. 7). По определению С. В. Орлова [2]: «Аномальные хвосты имеют вид слабо светящейся полоски с неясными очертаниями, направленной от головы кометы к Солнцу; этим они резко отличаются от нормальных хвостов. Формой своей аномальные хвосты напоминают очертания сахарной головы острием к Солнцу и основанием в голове кометы».

В «Теории метеоров» (см. стр. 42) Бредихин пишет, что аномальных хвостов «насчитывается около 10 случаев». Перечислим эти случаи, заметив, впрочем, что для старых комет наблюдения не точны и не совсем надежны.

1. Яркая комета 1577 г., у которой Корнелий Гемма заметил 3 декабря хвост, направленный к Солнцу. Орбита этой кометы приводится ниже по вычислениям М. А. Вильева [3].

2. Очень яркая комета 1680 г.; весьма слабый направленный к Солнцу хвост видел 7 и 8 января 1681 г. Готфрид Кирх.

3. Периодическая комета Галлея 1682 г. обладала слабым придатком по направлению к Солнцу.

4. Комета 1823 г. имела два хвоста, из которых более длинным был аномальный хвост (длиной 7°), наблюдавшийся с 23 по 30 января 1824 г. Обычный хвост представлялся сильно сокращенным вследствие перспективы.

После появления этой кометы Ольберс в небольшой статье [4] сформулировал следующие заключения:

1. Кометы с хвостами показывают иногда, кроме обычного, более слабый, направленный к Солнцу хвост.

2. Это необыкновенное явление длится лишь несколько дней.

3. До сих пор эти хвосты видели только после перигелия, и притом на значительном расстоянии от перигелия.

---

[1] См., например, упомянутую выше статью «Теория метеоров» или же: Ф. А. Бредихин. О попытках экспериментального воспроизведения кометных явлений. Известия Академии Наук, 1898, т. VIII, № 3, стр. 173—189.

[2] С. В. Орлов. Кометы, 1935, стр. 163.

[3] Мироведение, т. 7, 1918, стр. 171—178.

[4] W. Olbers. Über anomale Cometenschweife. Astronomische Nachrichten, 1830, B. 9, SS. 469—472.

Второе и третье замечания Ольберса не всегда подтверждались в дальнейшем; так, например, у кометы 1862 III аномальный хвост наблюдался до перигелия.

5. Комета 1844 III, у которой аномальный хвост был виден с 11 по 25 января 1845 г.

6. Комета 1851 IV. Аномальный хвост наблюдался с 22 октября до 21 ноября — в течение целого месяца.

7. Комета 1862 III, связанная с потоком Персеид, обладала аномальным хвостом, наблюдавшимся Скиапарелли с 30 июля по 6 августа. Этот хвост был виден до прохождения кометы через перигелий, которое произошло 23 августа.

8. Комета 1877 II; ее аномальный хвост был виден до перигелия.

9. Чрезвычайно яркая комета 1882 II имела аномальный хвост в виде туманной трубки; наблюдения над ним проводились с 4 октября до 21 ноября.

10. Комета 1886 II обладала удлиненной формой головы, как бы очень слабым придатком, направленным к Солнцу; наблюдения проводились около эпохи перигелия.

К этим случаям, заимствованным нами у Ф. А. Бредихина [1] и Р. О. Егермана [2], можно прибавить яркую комету 1910 I, у которой аномальный хвост исследовался по фотографиям, полученным на нескольких обсерваториях между 26 и 31 января. При этом снова подтвердилась отмеченная еще Бредихиным трудность точного определения длины и направления аномального хвоста. Несмотря на применение фотографии, хороших результатов не удалось получить [3].

Большинство перечисленных комет с аномальными хвостами обладало малыми перигельными расстояниями, значительной или даже очень большой яркостью, сильно развитыми обычными хвостами. Это свидетельствует о том, что для появления аномальных хвостов обычно необходима усиленная активность ядра кометы.

Приводим таблицу элементов орбит этих комет, в которой время прохождения через перигелий указано в среднем гриничском времени, а элементы, определяющие расположение орбит в пространстве, отнесены к среднему равноденствию начала года, в котором произошло прохождение

---

[1] Ф. А. Бредихин. О хвостах комет, 2 изд., 1934, стр. 76—79, 250—251.

[2] Prof. Dr. Th. Bredichin's Mechanische Untersuchungen über Cometenformen in systematischer Darstellung von R. Jaegermann. 1903, стр. 19—22.

[3] С. В. Орлов. Кометы. 1935, стр. 171—174.

через перигелий, за исключением комет 1577 и 1823, у которых равноденствие соответственно 1578.0 и 1824.0.

Комета	T		ω	☊	i	q	e
1577	Октября	26.948	255°.596	25°.315	104°.829	0.17606	1
1680	Декабря	17.988	350.60	272.158	60.671	0.00622	0.99999
1682	Сентября	17.495	109.261	51.188	162.254	0.58290	0.96792
1823	Декабря	9.434	28.505	303.052	103.804	0.22674	1
1844 III	Декабря	13.675	177.716	118.323	45.646	0.25172	1.00035
1851 IV	Сентября	30.797	294.417	44.359	73.977	0.14194	1
1862 III	Августа	22.909	152.758	137.454	113.569	0.96262	0.96035
1877 II	Апреля	17.656	63.132	316.622	121.142	0.94999	0.99870
1882 II	Сентября	17.224	69.588	346.011	141.996	0.00775	0.99991
1886 II	Мая	3.287	119.608	68.319	84.435	0.47927	1.00023
1910 I	Января	17.088	320.894	88.765	138.782	0.12898	0.99999

Еще в самом начале своей научной деятельности Ф. А. Бредихин обратил внимание на аномальные хвосты комет. В 1862 г. в магистерской диссертации «О хвостах комет» он перечисляет ряд комет с аномальными хвостами и определяет положение аномального хвоста кометы 1844 III по наблюдениям Меклира на мысе Доброй Надежды.

Теория аномальных хвостов развита Ф. А. Бредихиным в указанных в тексте местах «Анналов Московской обсерватории»; современное состояние вопроса об аномальных хвостах изложено С. В. Орловым[1]. Формулы, относящиеся к движению частиц, изверженных ядром в аномальный хвост кометы, приводятся ниже в тексте, и мы к ним еще вернемся. Нужно, однако, теперь же заметить, что частицы аномального хвоста, будучи выброшены по направлению к Солнцу, тем самым приобретают угловую скорость относительно Солнца бо́льшую, чем ядро кометы, и должны опережать его в движении по орбите. Поэтому настоящие аномальные хвосты должны располагаться впереди радиуса-вектора в направлении движения кометы. Однако не все перечисленные выше аномальные хвосты удовлетворяли этому правилу: некоторые из них (у комет 1823, 1877 II, 1886 II, а также, повидимому, у кометы 1894 I) располагались позади радиуса-вектора под большим углом к нему. Эти хвосты получили у Ф. А. Бредихина название псевдоаномальных.

Мысль, что образование метеорных роев связано с аномальными хвостами комет, была высказана Ф. А. Бредихиным в 1877 г. Он пишет:

«Кажется, что аномальный хвост кометы 1862 III представлял самый акт постепенного превращения части кометной массы в рои метеоров»[2].

---

[1] С. В. Орлов. Кометы. 1935, стр. 163—174.

[2] Annales de l'Observatoire de Moscou, 1877, vol. III, livr. 1, p. 41.

В 1879 г. Ф. А. Бредихин рассматривал псевдоаномальный хвост кометы 1823, который следовал за кометой в ее движении:

«Итак, частицы этого хвоста описывали (почти) ту же самую орбиту, что и ядро, и этот придаток может рассматриваться как след из метеоров, из которых самым крупным было ядро» [1].

В 1881 г. по этому же поводу Ф. А. Бредихин писал:

«Эти частицы описывали ту же орбиту, что и ядро, и они не требовали ни увеличения, ни уменьшения ньютонианской силы; следовательно, нужно допустить, что аномальный придаток был не чем иным, как самой кометой, удлинившейся вдоль ее орбиты: ее предшествующая часть была плотнее и имела нормальный хвост» [2].

В 1885 г. А. А. Белопольский, по поручению Ф. А. Бредихина и пользуясь его формулами, вычислил величину начальной скорости j выброшенных из ядра частиц и угол J этой скорости с радиусом-вектором для аномальных хвостов комет 1844 III и 1862 III[3]. Если обозначить M_1 — момент извержения частиц, то результаты А. А. Белопольского можно представить в виде следующей маленькой таблички

Комета	M_1		j	J
1844 III	1844, января	3.0	0.05	0°
1862 III	1862, июля	1.0	0.105	—33

К вычислениям А. А. Белопольского Ф. А. Бредихин делает примечание, в котором речь идет о частицах, выброшенных кометой 1844 III и описывающих эллиптические орбиты:

«Большая полуось этого эллипсиса $A = 7.433$, следовательно, метеоры, произведенные этим аномальным придатком, остаются в солнечной системе» [4].

Период обращения, соответствующий приведенному A, составляет 20.27 лет.

С. В. Орлов в конце главы, посвященной аномальным хвостам комет[5], приходит к выводу:

«В заключение можно сказать, что мы еще почти ничего не знаем об аномальных хвостах: нет разработанной механической теории, выводы которой были бы подтверждены наблюдениями; ничего неизвестно ни

---

[1] Annales de l'Observatoire de Moscou, 1879, vol. V, livre 2, p. 60

[2] Там же, 1881, vol. VII, livre 2, p. 63.

[3] Там же, 1886, série 2, vol. I, pp. 65—69.

[4] Там же, стр. 68.

[5] С. В. Орлов, Кометы, 1935, стр. 174.

о спектрах этих хвостов, ни о физических процессах, выбрасывающих частицы из ядер, а между тем аномальные хвосты, повидимому, говорят о начавшемся распаде кометных ядер; по теории Бредихина, именно частицы аномальных хвостов формируют собою метеорные потоки. Аномальные хвосты ждут своего исследователя».

Эти слова были написаны в 1935 г. и остаются в силе сейчас. В последние годы исследование особенностей движения периодических комет (вековое ускорение и вековое замедление движения) привело к достоверному заключению, что кометы при каждом приближении к Солнцу теряют заметную долю своей массы [1]. В связи с успехами в изучении физического строения кометных ядер этим снова подтверждаются идеи Ф. А. Бредихина о происхождении метеорных роев.

[3] (Стр. 11). Эта статья — «Пересмотр численных значений отталкивательной силы» — была опубликована в «Анналах Московской обсерватории» и в «Известиях Московского общества испытателей природы» [2]; указанные в тексте страницы относятся к отдельному оттиску из этих «Известий».

Величина скорости всегда выражена у Ф. А. Бредихина в наиболее удобной для теоретических расчетов системе единиц, именно принято за единицу длины среднее расстояние от Земли до Солнца или большая полуось земной орбиты (астрономическая единица), а за единицу времени — величина, численно обратная гауссовой постоянной тяготения для Солнечной системы: $1 : k = 58.132$ средних суток. Если при этом пренебречь массой Земли сравнительно с массой Солнца, что вполне допустимо, то средняя скорость движения Земли на ее орбите будет равна единице.

Величина этой скорости, выраженная в километрах в секунду, получится равной $\frac{2\pi a_0}{T_0}$, где a_0 — астрономическая единица, выраженная в километрах; T_0 — продолжительность звездного года в средних секундах. Пользуясь принятым в астрономических ежегодниках значением параллакса Солнца $p_{\odot} = 8''.80$ и значением экваториальной полуоси земного эллипсоида 6378.245 км (по Ф. А. Красовскому), находим: $a_0 = 149\,500\,000$ км, а искомая скорость равна 29.77 км/сек, то есть немного больше, чем приведено в тексте; это различие объясняется уточнением значения солнечного параллакса с эпохи Ф. А. Бредихина.

---

[1] А. Д. Дубяго. О вековом ускорении движения периодических комет. Астрономический журнал, 1948, т. XXV, стр. 361—369.

[2] Annales de l'Observatoire de Moscou, 1886, sêrie 2, vol. I, pp. 24—47; Bulletin de la Société des Naturalistes de Moscou, 1885, № 1, pp. 1—36.

[4] (Стр. 11). В «Теории метеоров» (стр. 43) указывается другой, более доступный русскому читателю, источник: «Анналы Московской обсерватории» — «Annales de l'Observatoire de Moscou», 1883, t. IX, livre 2, p. 72.

Формулы Ф. А. Бредихина относятся сначала к тому наиболее простому и важному случаю, когда орбита производящей кометы принимается за параболу. Для их вывода достаточно применить хорошо известные интегралы задачи двух тел и основное уравнение конического сечения; постоянная Гаусса $k = 1$ (см. примеч. 3).

Из интеграла живой силы

$$H^2 = \frac{2}{r} - \frac{1}{a}$$

получаем, так как полуось орбиты кометы $a = \infty$:

$$H^2 = \frac{2}{r}.$$

Обратимся к рис. 1, на котором S — Солнце, K — комета, P — перигелий ее орбиты; остальные обозначения соответствуют тексту; мы видим, что

$$\operatorname{ctg} \beta = \frac{dr}{r\,dv},$$

так как $\frac{dr}{dt}$ и $r\frac{dv}{dt}$ являются компонентами скорости кометы по радиусу-вектору и перпендикулярно к нему.

Уравнение параболы

$$r = \frac{p}{2\cos^2 \frac{v}{2}},$$

где p — ее полупараметр, дает:

$$\frac{dr}{dv} = r \operatorname{tg} \frac{v}{2};$$

отсюда

$$\operatorname{ctg} \beta = \operatorname{tg} \frac{v}{2},$$

$$\beta = 90^\circ - \frac{v}{2}.$$

Из треугольника, образованного скоростями H, j и H_1, вытекают уравнения:

$$H_1^2 = H^2 + j^2 - 2Hj\cos(\beta - J). \qquad (1)$$

$$\sin\gamma = j \sin(\beta - J) : H_1. \qquad (2)$$

Тот же интеграл живой силы в применении к орбите метеора

$$H_1^2 = \frac{2}{r} - \frac{1}{A},$$

если положить

$$m = H_1^2 r, \qquad (4)$$

дает:

$$A = r : (2 - m). \qquad (5)$$

Формула

$$T = A^{3/2}$$

выражает в данном случае третий закон Кеплера.

Применяя к орбите метеоров интеграл площадей

$$r^2 \frac{dV}{dt} = \sqrt{p}$$

и замечая, что

$$r \frac{dV}{dt} = H_1 \sin \beta_1,$$

где

$$\beta_1 = \beta + \gamma, \qquad (3)$$

находим:

$$P = m \sin^2 \beta_1 \cdot r. \qquad (6)$$

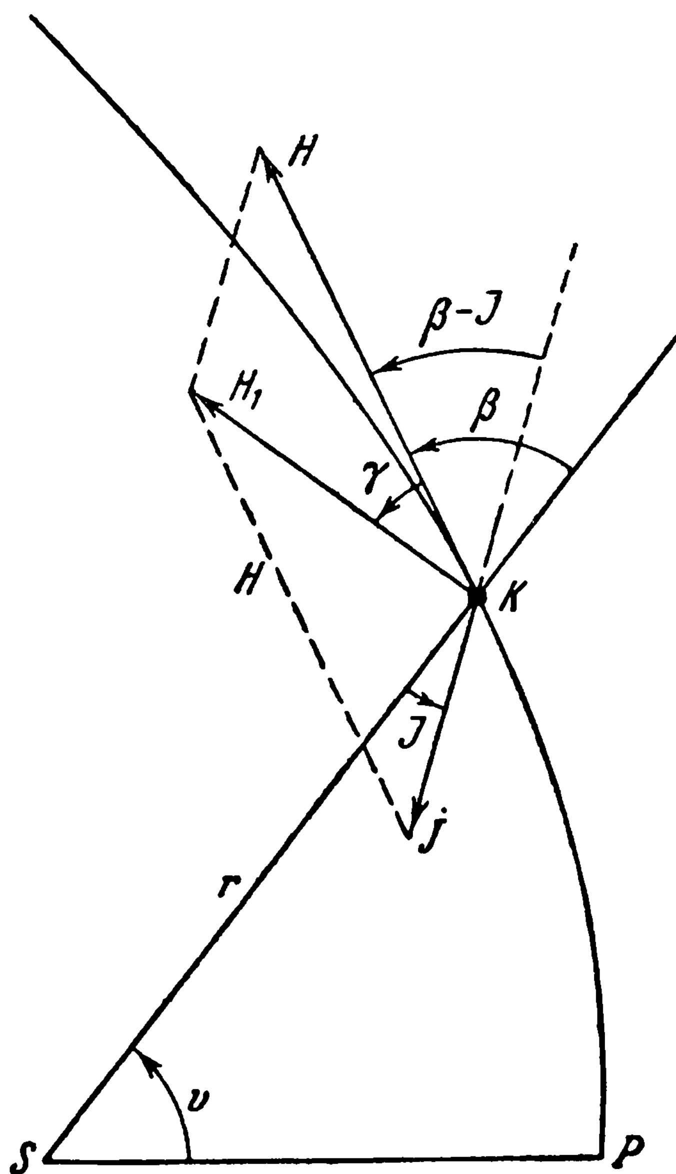


Рис. 1

Из геометрического соотношения

$$P = A\,(1 - E^2)$$

следует:

$$E^2 = (A - P) : A. \qquad (7)$$

Уравнение

$$\cos V = (P - r) : rE \qquad (8)$$

получается из общего уравнения конического сечения

$$r = \frac{P}{1 + E \cos V};$$

откуда следует также (при $V = 0$):

$$Q = P : (1 + E). \qquad (9)$$

Наконец, очевидно, угол Ψ между осями орбит метеора и кометы равен разности их истинных аномалий:

$$V - v = \Psi. \tag{10}$$

Далее следуют формулы для эллиптической орбиты производящей кометы. Их вывод ясен из текста; начало прямоугольных координат берется в центре эллипса, ось xx направлена в афелий кометы.

Формула, приведенная в подстрочном примечании, получается, если из уравнения

$$r = \frac{p}{1 + e\cos v}$$

определить

$$\frac{dr}{dv} = \frac{p}{r^2 e \sin v},$$

после чего

$$\operatorname{tg}\beta = r\frac{dv}{dr} = \frac{1 + e\cos v}{e\sin v}.$$

Это выражение очень удобно.

[5] (Стр. 13). Уравнения (5) и (4) показывают, что орбита метеора будет:

$$\text{эллипс, если } m < 2, \text{ или } H_1^2 < H^2 + \frac{1}{a};$$

$$\text{парабола, если } m = 2, \text{ или } H_1^2 = H^2 + \frac{1}{a};$$

$$\text{гипербола, если } m > 2, \text{ или } H_1^2 > H^2 + \frac{1}{a}.$$

Выражение (1) приводит затем к условию

$$-\frac{1}{a} + j - 2jH\cos(\beta - J) < 0,$$

чтобы орбита метеора была эллипсом. Для параболической орбиты кометы предыдущее условие упрощается:

$$j < 2H\cos(\beta - J),$$

или

$$j < 2\sqrt{\frac{2}{r}}\sin\left(J + \frac{v}{2}\right).$$

Если истечение метеоров направлено прямо к Солнцу ($J = 0$), то эллиптические орбиты метеоров до перигелия невозможны Для производящей кометы, движущейся по эллипсу с небольшим

значением полуоси, возможно выделение эллиптических метеоров и до перигелия при малых значениях j.

[6] (стр. 14). В нижеследующих таблицах значения v не указаны, ибо они, конечно, те же самые, что и выше, для соответствующих r.

[7] (Стр. 15). Скобками здесь обозначено умножение чисел. Взяв, например, табличку для точки 3 и для $j = 0.1$, видим, что в ней имеются значения T от 7.02 до 15.77 лет. Очевидно, что для некоторых значений J, лежащих в интервале, чуть большем, чем взятый в вычислении (от $-20°$ до $+45°$), получатся все перечисленные в тексте целые значения T — от 7 до 15 лет. Кроме того, получатся, конечно, и дробные значения T: —7.33, 7.5, 8.5 и т. д., которые по умножении на 2, на 3 и т. д. дадут любые различные целые числа лет для возвращения метеоров в исходную точку.

[8] (Стр. 17). Не трудно видеть, что J обозначает угол извержения с плоскостью кометной орбиты; он приобретает свой обычный смысл (угла между извержением и радиусом-вектором), если считать, что плоскость, в которой произошло извержение, не только перпендикулярна к плоскости кометной орбиты (что ничего не говорит о расположении извержения, так как всегда можно провести через него плоскость, перпендикулярную к плоскости орбиты), но и проходит через радиус-вектор.

[9] (Стр. 17). Так как линейная толщина кольца будет определяться (через небольшой промежуток времени) величиной

$$2H_1 \sin x = 2j \sin J$$

при условии, что положительный и отрицательный пределы J равны между собой, то величина H_1 никакой роли в этом вычислении не играет.

Приведенные в тексте числа соответствуют 21 и 42 млн. км.

[10] (Стр. 20). В пояснение можно добавить, что если Земля проходит ветвь орбиты потока, расположенную до перигелия, то, благодаря расхождению орбит метеоров с разными временами обращения (в нижней части рис. 1), она в каждый момент будет встречать метеоры, направление движения которых будет мало меняться в плоскости орбиты, то есть площадь радиации будет иметь малое протяжение по линии, параллельной к плоскости орбиты потока. Орбиты с другими направлениями движения в этой плоскости Земля встретит в другие моменты времени. Но орбиты тех метеоров в коническом пучке извержения, происшедшего после перигелия, которые получили скорости относительно ядра кометы, отличающиеся лишь компонентой, перпендикулярной к плоскости орбиты производящей кометы, будут различаться только по их наклонениям к этой плоскости (а не по их большим осям, или эксцентриситетам, так как эти элементы определяются только компонентами скорости в плоскости кометной орбиты, пока наклонение метеорных орбит к ней мало). Следовательно, все эти метеоры с различными наклонениями встретятся снова

в противоположном узле (до перигелия), почти в одной и той же точке пространства, и при наблюдении с Земли расширят площадь радиации в направлении, перпендикулярном к плоскости орбиты потока.

[11] (Стр. 20). Здесь имеется в виду теория происхождения метеорных потоков, разработанная Скиапарелли после того, как он установил в 1866 г. тесную связь между кометами и метеорами. Ф. А. Бредихин в лекции «Падающие звезды», перепечатанной в настоящем сборнике, излагает довольно подробно взгляды и открытия Скиапарелли, сыгравшие важную роль в истории метеорной астрономии (некоторые дополнительные сведения даны в примечаниях 162, 170, 173 и 175). Полезно несколько остановиться на механической стороне процесса образования метеорных потоков, как ее представил Скиапарелли в немецком издании своего известного сочинения о падающих звездах [1], которое вышло в свет немного позже упомянутой лекции Ф. А. Бредихина (в том же 1871 г.). Хотя концепция Скиапарелли после исследований Ф. А. Бредихина о происхождении метеоров много потеряла в своем значении, все же для некоторых комет она и теперь может пригодиться, и сам Ф. А. Бредихин не отвергал ее полностью. С другой стороны, она послужила началом ряда работ, посвященных гравитационной устойчивости и распаду роев материальных частиц (Шарлье, Пикар, Калландро, Рауз, Н. Ф. Рейн, А. Д. Дубяго, В. Г. Фесенков). Строгое и полное решение этой проблемы, представляющее немалый интерес для космогонии, сопряжено с необычайными математическими трудностями.

Скиапарелли принимает, что комета состоит из отдельных материальных частиц (метеоров), обладающих равными массами m и равномерно распределенных в сферическом рое радиуса r на среднем расстоянии $2d$ друг от друга. Это среднее расстояние понимается, в смысле Пуассона, как диаметр шара равного объема с той частью пространства, на которую приходится одна частица; таким образом, объем этого шара, умноженный на число частиц, будет равен общему объему роя.

Частица, находящаяся на поверхности роя, притягивается к его центру с ускорением $\frac{\Sigma m}{r^2}$, где Σm — общая масса системы (постоянная тяготения полагается равной единице). Из предыдущего видно, что число частиц есть $\frac{r^3}{d^3}$, поэтому $\Sigma m = \frac{mr^3}{d^3}$, и ускорение рассматриваемой частицы выражается как $\frac{mr}{d^3}$, — это верно и в том случае, когда частица находится внутри роя, если r обозначает ее расстояние от центра. Пусть, далее, R

---

[1] J. V. Schiaparelli. Entwurf einer astronomischen Theorie der Sternschnuppen. 1871.

есть расстояние от центра роя до Солнца, а M — масса последнего. Ускорение притяжения Солнца в центра роя есть $\frac{M}{R^2}$. Из элементарной геометрической теории возмущений известно, что наибольшее возмущающее действие Солнца проявляется, когда частица находится на прямой, соединяющей Солнце с центром роя. Итак, если частица находится на этой прямой между Солнцем и центром роя, ускорение притяжения Солнца будет равно $\frac{M}{(R-r)^2}$; в точке, расположенной подобным образом за центром роя, ускорение есть $\frac{M}{(R+r)^2}$. Если r мало сравнительно с R, мы имеем возмущающее ускорение:

$$\frac{M}{(R-r)^2}-\frac{M}{R^2}=\frac{M}{R^2}-\frac{M}{(R+r)^2}=\frac{2Mr}{R^3}.$$

Распад системы наступает, когда это возмущающее ускорение (ускорение обычной приливообразующей силы) больше ускорения центрального притяжения, то есть когда

$$\frac{2Mr}{R^3}>\frac{mr}{d^3},$$

или

$$\frac{2M}{R^3}>\frac{m}{d^3}.$$

Найденное столь просто условие распада лишь численным множителем (2 вместо 3) отличается от условий, установленных позднее Шарлье и Пикаром; для качественных подсчетов,— а на большее здесь нельзя претендовать,— это совершенно безразлично. Данное условие может, очевидно, быть выражено так: распад наступает тогда, когда плотность роя меньше удвоенной (утроенной) плотности Солнца, если вообразить его массу распределенной равномерно в объеме шара с радиусом, равным расстоянию от центра Солнца до центра роя. Размеры роя влияния не оказывают.

Скиапарелли рассматривает далее подобную метеорную систему, в которой каждая частица обладает массой в 1 г, и находит, что такой рой не будет рассеян притяжением Солнца на расстоянии в 1 астрономич. единицу, если расстояние между частицами $2d = 1.86$ м, что значительно превышает возможную плотность комы у комет (плотность Солнца принята равной 1.5). На дальнейших выводах Скиапарелли о распаде комет при сближении их с какой-либо из планет мы не останавливаемся.

Заметим теперь, что если распад кометы и выделение метеоров происходят в соответствии с теорией Скиапарелли, то метеоры должны располагаться почти точно в плоскости орбиты, так как возмущающее

ускорение Солнца, разумеется, действует в этой плоскости; можно предположить, что толщина образующегося метеорного облака будет порядка диаметра комы или, вернее сказать, ядра. Повидимому, Ф. А. Бредихин исходил из подобного рассуждения, утверждая, что Земля пересекла бы слой метеоров в несколько минут. Действительно, за это время Земля пройдет несколько тысяч километров, что представляет верхний возможный предел сколько-нибудь плотной части комы.

Это замечание Ф. А. Бредихина совершенно справедливо и при любом другом предположении о механизме выделения метеоров из ядра кометы, если только их скорости имеют малые компоненты по оси, перпендикулярной к плоскости орбиты. Очень возможно, что так и есть в действительности; поэтому, если Земля встречает метеорный поток, недавно образовавшийся, он наблюдается в виде интенсивного, но очень непродолжительного метеорного дождя, как, например, наблюдался в 1933 и 1946 гг. поток Драконид, связанный с периодической кометой Джиакобини — Циннера. Однако с течением времени отдельные метеоры, вследствие небольших различий во временах обращения, распространятся по всему кольцу орбиты, что, между прочим, может служить указанием на древность потока. Влияние планетных возмущений, накапливающееся на протяжении веков, изменит по-разному элементы орбит метеоров, движущихся в разных частях кольца. Впоследствии частицы с разными временами обращения и другими элементами орбит перемешаются во всех частях кольца, и оно приобретет заметное протяжение в поперечном сечении. Это действие скажется, конечно, всего сильнее на потоках, которые по характеру их орбит способны близко проходить к большим планетам (в частности, потоки с малым наклонением).

Немалую роль в расширении потока может сыграть световое давление Солнца. Бредихин не имел этого в виду, так как его работа была написана еще до знаменитого открытия П. Н. Лебедева, установившего из опыта давление света. Световое давление Солнца постепенно сокращает размеры орбит наиболее мелких частиц и расширяет поток в плоскости его орбиты. Для расширения потока в направлении, перпендикулярном к этой плоскости, потребуется уже действие планетных возмущений.

В настоящее время ядра комет рассматриваются как более или менее компактные образования, поэтому для их разложения на метеоры приливообразующей силой Солнца необходимо, чтобы комета подошла к нему очень близко. Для соответствующей оценки можно воспользоваться условием, выведенным для разрыва бесконечно малых жидких эллипсоидов, что даст критическое расстояние в 2.2 солнечных радиуса [1] (если считать, что плотность кометного ядра та же, что и средняя плотность Солнца,

---

[1] М. Ф. Субботин. Курс небесной механики, т. 3, 1949, стр. 205.

что не должно очень уклоняться от истины). Это соответствует около 0.01 астрономич. единицы; итак, только, например, кометы 1680, 1843 I 1880, I, 1882 II, 1887 I и др. с достаточно малыми перигельными расстояниями испытали настолько сильное приливное действие Солнца, что их ядра разделились на части. Впрочем, весь этот расчет должен быть признан крайне грубым, так как модель жидкого эллипсоида явно лишь в очень малой степени похожа на ядро кометы. Кроме того, приливное действие может усиливаться нагреванием ядра при приближении кометы к Солнцу, и распад ядра может происходить и на больших геоцентрических расстояниях.

[12] (Стр. 21). Ф. А. Бредихин, разумеется, не случайно взял здесь для своих вычислений элементы кометы Биела. Эту замечательную в истории астрономии комету открыл 27 февраля 1826 г. чешский астроном Биела (правильнее: Белый). Вскоре после этого выяснилось, что комета обладает периодом обращения немного менее 7 лет. Комета Биела наблюдалась также и в двух предшествующих появлениях: в 1772 и 1805 гг., но по немногочисленным сделанным тогда наблюдениям нельзя было предполагать, что она является периодической. При следующем возвращении кометы в 1832 г. Ольберс обратил внимание, что ее орбита почти пересекает орбиту Земли, и если бы комета пришла в точку пересечения на месяц ранее, то она почти столкнулась бы с Землей. При возвращении в 1845/46 г. комета была открыта 26 ноября, но была сначала очень слаба; 29 декабря было замечено, что комета сопровождается еле заметным спутником, который постепенно становился ярче и вместе с тем видимым образом удалялся от главной кометы. В 1852 г. обе кометы наблюдались снова, на более значительном расстоянии друг от друга. Попытки найти комету в 1866 г. (после неблагоприятного для наблюдений возвращения в 1859 г.) не увенчались успехом, и с тех пор никто не видел кометы Биела.

В 1867 г. Вейсс и д'Арре независимо друг от друга установили, что метеорный поток Андромедид, наблюдавшийся с 1772 г. и по временам дававший умеренное количество падающих звезд, движется по той же орбите, что и комета Биела, и связан с ней. Предсказанный Вейссом на 1872 г. метеорный дождь наблюдался с поразительной силой 27 ноября и вслед за тем в ту же дату в 1885 г. Сразу после наблюдений дождя Андромедид в 1872 г. чрезвычайное обилие метеоров навело Клинкерфюса на мысль, что Земля могла в этот момент пройти через главную массу того, что прежде было кометой Биела; поэтому комета могла стать видимой в направлении, в точности противоположном радианту метеоров. Он телеграфировал об этом Погсону в Мадрас (в Индии), который действительно смог в течение двух последовательных дней наблюдать в указанном месте неба небольшую комету с ядром и даже с хвостом 8′ длиной. После

наступившей затем пасмурной погоды Погсон не обнаружил этой кометы, которая, впрочем, не была самой кометой Биела, так как последняя должна была находиться в тот момент на очень большом расстоянии от Земли. Можно предположить, что объект, виденный Погсоном, являлся какой-то давно отделившейся частью кометы Биела и стал видим при особо благоприятных обстоятельствах (на малом расстоянии от Земли).

Дальнейшая история метеорного потока Андромедид и кометы Биела связана с именем Ф. А. Бредихина и содержится в его статьях, помещенных в этой книге.

В тексте опущено указание на эксцентриситет орбиты кометы, без чего нельзя вычислить v для заданного r и получить все дальнейшие величины. Поэтому приводим элементы кометы Биела для ее последнего появления в 1852 г., выведенные Хеббардом и использованные Ф. А. Бредихиным для вычислений. Вот элементы главной кометы:

$$T = 1852,\ \text{сентября}\ 23.7274\ \text{ср. гринич. вр.}$$
$$\left.\begin{aligned} \omega &= 223^\circ 16' 41'' \\ \Omega &= 245\ 51\ 26 \\ i &= 12\ 33\ 16 \end{aligned}\right\} 1852.0$$
$$q = 0.86060$$
$$e = 0.75592$$

Это значение эксцентриситета согласуется с дальнейшими результатами в тексте.

[13] (Стр. 23). В подлиннике цитата из Деннинга приведена по-английски.

[14] (Стр. 23). Время обращения метеорного потока Леонид равно 33.25 годам, то есть на 0.074 года длиннее периода кометы 1866 I. Если в 1866 г. поток опоздал относительно кометы на 305 дней (промежуток между 11.16 января и 13.16 ноября равен 306 дням), то опоздание при каждом предшествующем возвращении к перигелию было меньше на 27 дней. За 30 оборотов (немного менее 1000 лет) до 1866 г. поток уже опережал комету на $30 \times 27 - 305 = 505$ дней. Так как это число больше 305 дней, то очевидно, что вычисленные значения M, E и v являются минимальными и должны быть увеличены.

[15] (Стр. 24). В подлиннике по-латыни: potentialiter. Указанное вычисление было выполнено в 1879 г.[1]

[16] (Стр. 24). Так как с 1839 по 1852 г. протекло два оборота кометы, опережение вторичной кометы составит за один оборот только 8 часов, откуда следует, что $j = 0.003$ (около 10 м/сек).

---

[1] Annales de l'Observatoire de Moscou, 1879, vol. V, livr. 2.

[17] (Стр. 27). Не останавливаясь на тривиальной задаче преобразования экваториальных координат в эклиптикальные и обратно, дадим вывод приведенных в тексте формул, решающих в основном задачу нахождения орбиты метеорного потока по наблюденным координатам его радианта.

Предположим, что поправки (обычно небольшие), учитывающие притяжение Землей метеоров потока, приближающихся к ее поверхности, а также вращение Земли, уже внесены или ими пренебрегают. Притяжение Земли сказывается в том, что движение метеоров отклоняется к центру Земли и тем самым радиант потока приближается кажущимся образом к зениту (отсюда другое название этого эффекта — зенитное притяжение); кроме того, несколько увеличивается геоцентрическая скорость метеоров. Вращение Земли переносит наблюдателя в пространстве, и линейная скорость вращения должна геометрически складываться с наблюденной скоростью метеоров. Однако скорость вращения Земли мала (особенно в высоких и средних географических широтах, где по большей части наблюдаются метеоры). По этой причине наблюдаемая, так называемая суточная аберрация метеоров обычно незначительна. Чем больше скорость метеоров по отношению к Земле, тем слабее оба перечисленных эффекта влияют на положение радианта, поэтому введение соответствующих поправок необходимо в первую очередь для медленно движущихся метеоров (Андромедиды).

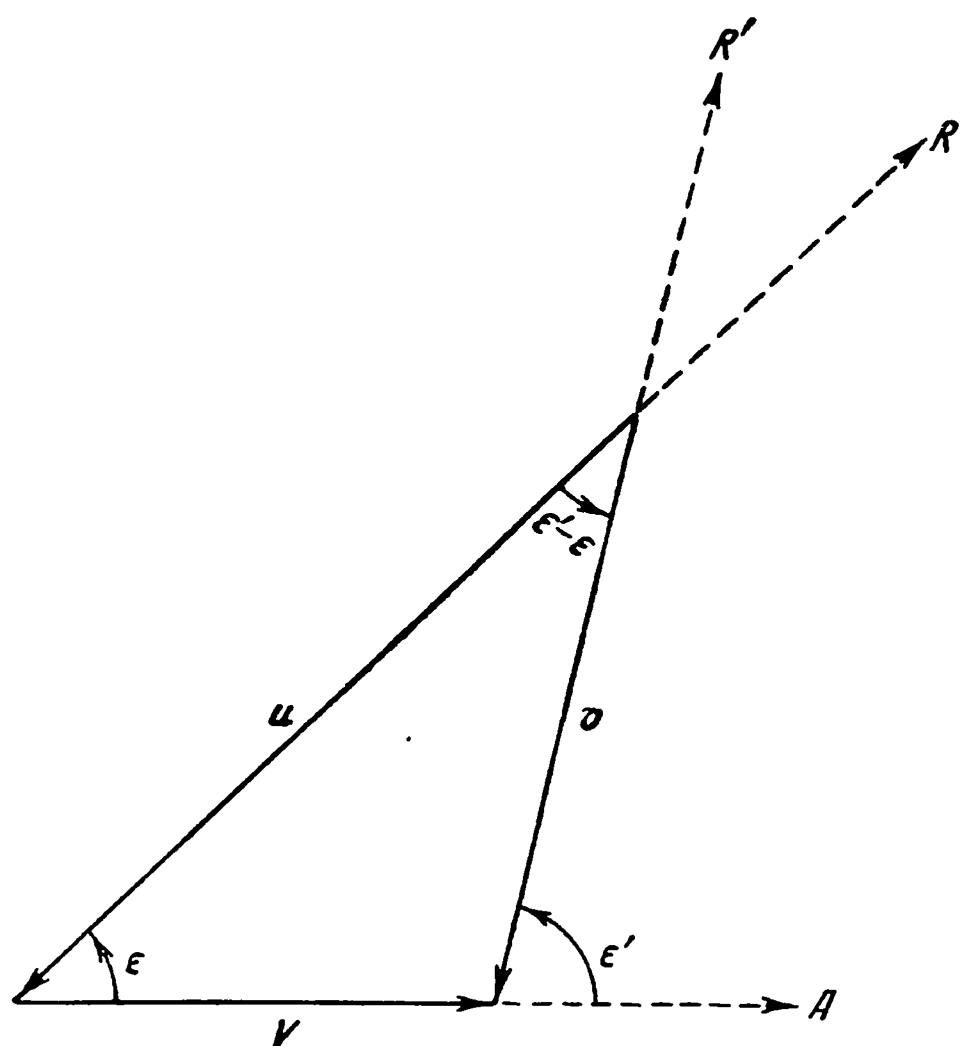


Рис. 2

Очевидно, что метеорные потоки наблюдаются в одном из узлов их орбит. Если $b > 0$, метеор движется (по отношению к эклиптике) из северного полушария в южное, Земля находится в нисходящем узле орбиты потока и восходящий узел должен быть в направлении на Солнце; отсюда вытекает, что в данном случае ☊$=\lambda$; если $b<0$, ☊$=\lambda+180°$.

Обозначим скорость метеора относительно Земли через u, относительно Солнца через v и скорость Земли относительно Солнца через V. На рис. 2 изображены эти три скорости, лежащие в одной плоскости; для векторов скоростей имеет место соотношение

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{u} + \boldsymbol{V}. \tag{а}$$

Продолжая вектор $\boldsymbol{V}$, мы получаем на небесной сфере точку A — апекс движения Земли; продолжая в обратную сторону векторы $\boldsymbol{u}$ и $\boldsymbol{v}$, находим на сфере точки видимого и истинного радиантов: R и R'. На рис. 3 изображены эти три точки, причем небесная сфера рассматривается снаружи. Точка A лежит на эклиптике, ибо движение Земли совершается в ее плоскости, а обе точки R и R' лежат на одном большом круге с точкой A. Дуги ε, ε' и их разность $\varepsilon'-\varepsilon$ на рис. 3 соответствуют одинаково обозначенным углам между векторами на рис. 2. Дуга ε есть элонгация видимого радианта от апекса; элонгация истинного радианта есть ε'; обе эти дуги меньше 180°.

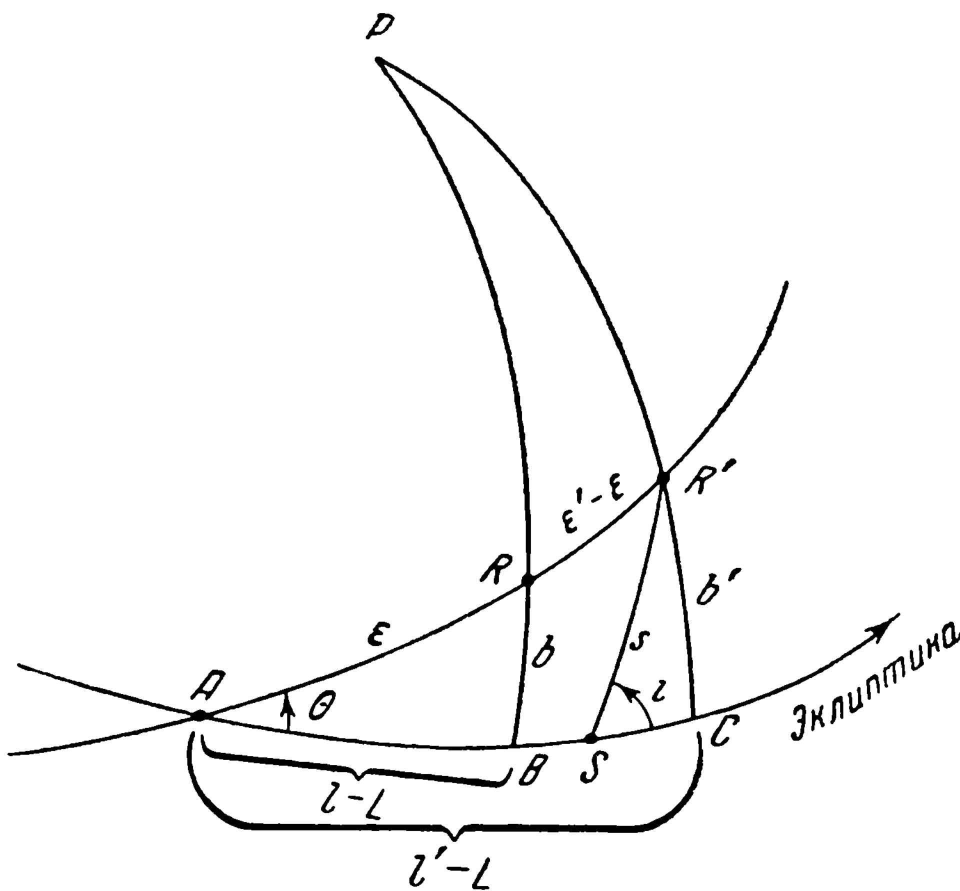


Рис. 3

Если принять орбиту Земли за круг, пренебрегая ее эксцентриситетом, равным $\frac{1}{60}$ (впрочем, учет влияния эксцентриситета не составляет затруднений), то вектор $\boldsymbol{V}$ будет направлен в плоскости эклиптики перпендикулярно радиусу-вектору орбиты, или же L будет равно $\lambda-90°$, так как Земля движется в сторону возрастания долгот.

Принимая постоянную Гаусса k за единицу, пишем интеграл живых сил:

$$v^2 = \frac{2}{R} - \frac{1}{a}. \tag{б}$$

Допустив круговое движение Земли, мы должны положить радиус-вектор Земли и метеоров равным единице. Для метеоров Бредихин

принимает параболическое движение; следовательно, большая полуось их орбиты $a = \infty$. Для Земли $a = 1$; отсюда находим:

$$v^2 = 2, \quad V^2 = 1,$$

и далее

$$D = \frac{V}{v} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.7071, \qquad \text{(в)}$$

как приведено в тексте; из формулы (б) можно получить и общее выражение для D.

Обратимся к прямоугольным сферическим треугольникам ARB и $AR'C$ (рис. 3). Точки B и C находятся на пересечении с эклиптикой больших кругов, проведенных из полюса эклиптики P через видимый и истинный радианты R и R'. Таким путем находим формулы:

$$\operatorname{tg} \theta = \operatorname{tg} b : \sin (l - L). \qquad (12$$

$$\sin \varepsilon = \sin b : \sin \theta, \qquad (13)$$

$$\cos \varepsilon = \cos b \cos (l - L).$$

$$\sin b' = \sin \varepsilon' \sin \theta. \qquad (15)$$

$$\sin (l' - L) = \operatorname{tg} b' : \operatorname{tg} \theta. \qquad (16)$$

Из рис. 3 и уравнения (в) следует:

$$\sin (\varepsilon' - \varepsilon) = D \sin \varepsilon. \qquad (14)$$

Рассматривая на рис. 3 треугольник $AR'S$, где S — видимое положение Солнца для момента наблюдения, видим, что s измеряется дугой SR', так как эта дуга соответствует углу между касательной к орбите метеоров и радиусом-вектором, т. е. между направлениями на истинный радиант R' и на Солнце S. Но эти оба направления, как вытекает из их определения, лежат в плоскости орбиты метеоров. Следовательно, большой круг SR' изображает проекцию орбиты метеоров на небесную сферу, а угол при точке S есть наклонение этой орбиты i. После этого из треугольников $AR'S$ (где $AS = 90°$) и $SR'C$ следует:

$$\cos s = \sin \varepsilon' \cos \theta,$$

$$\sin i = \sin \varepsilon' \sin \theta : \sin s,$$

$$\sin i = \sin b' : \sin s.$$

Наконец, из треугольника ☊m☊$'$ на рис. 4, иллюстрирующем расположение двух метеорных орбит и эклиптики, легко получаются уравнения:

$$\cos A = \cos i \cos i' + \sin i \sin i' \cos a. \tag{19}$$

$$\sin c = \sin a \sin i' : \sin A. \tag{20}$$

$$\sin c' = \sin a \sin i : \sin A. \tag{21}$$

На этом заканчивается вывод приведенных в тексте формул, но можно очень быстро получить и остальные элементы орбиты метеоров.

Так как угол между радиусом-вектором и направлением скорости метеоров па параболической орбите изображается дугой s, то в данном случае он тождественен с углом β в прежних обозначениях (см. стр. 11—12), то есть:

$$s = \beta = 90° - \frac{v}{2},$$

$$v = 180° - 2s,$$

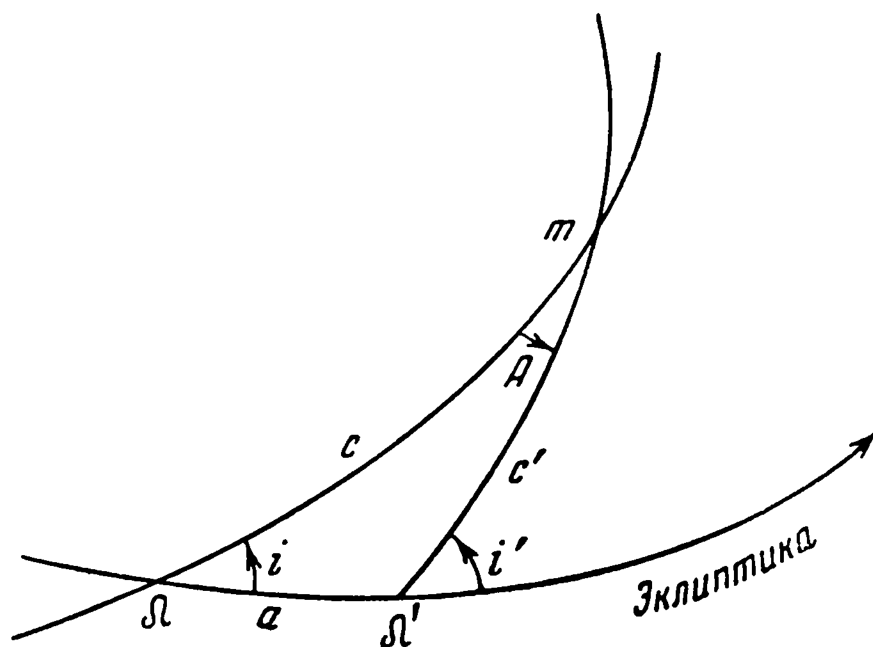


Рис. 4

где v — истинная аномалия метеоров. В зависимости от того, в каком узле наблюдались метеоры, будем иметь следующие соотношения:

$$\text{если } b > 0, \quad \omega = 180° - v;$$

$$\text{если } b < 0, \quad \omega = -v.$$

Наконец, из основных уравнений параболического движения вытекает:

$$q = R \cos^2 \frac{v}{2} = \cos^2 \frac{v}{2};$$

$$\frac{\sqrt{2}}{k}\left(\operatorname{tg}\frac{v}{2} + \frac{1}{3}\operatorname{tg}^3\frac{v}{2}\right) = \frac{t - T}{q^{3/2}}.$$

Определение элементов параболической орбиты закончено; впрочем, отыскание времени прохождения метеоров через перигелий T редко представляет интерес.

Вскоре после опубликования работы Ф. А. Бредихина появилась книга И. А. Клейбера[1], в которой формулы для определения метеорных

[1] И. А. Клейбер. Определение орбит метеорных потоков. 1891.

орбит были подвергнуты подробному анализу, исследованы возможности для ускорения и упрощения вычислений и даны элементы орбит метеоров для 918 радиантов Деннинга.

[18] (Стр. 30). В подлиннике цитата приведена по-английски.

[19] (Стр. 31). Сущность рассуждений Голечека вкратце следующая. Самым благоприятным условием для открытия кометы обычно является совпадение прохождения через перигелий (то есть наибольшей яркости кометы) с приближением к Земле. Отсюда следует, что всего вероятнее открытие комет, у которых долгота перигелия равна гелиоцентрической долготе Земли или увеличенной на 180° долготе Солнца. Но имеются и такие кометы, для которых наибольшая близость к Солнцу не может совпадать с близостью к Земле,— это кометы с очень малыми перигельными расстояниями, самые яркие. Для них близость к Земле возможна на любой из ветвей орбиты на значительном расстоянии от перигелия, который в таком случае должен быть направлен от Земли в сторону Солнца, то есть долгота перигелия должна быть равна долготе Солнца. Время года, когда окрестности Солнца,— где кометы развивают наибольший блеск,— всего доступнее для наблюдений в северном полушарии,— это лето, так как тогда Солнце даже в полночь находится на небольшой глубине под горизонтом. Но и зима приносит увеличение числа открытий комет, на этот раз с перигельными расстояниями, преимущественно бо́льшими единицы; для них наивыгоднейшие условия открытия совпадают с оппозицией, ибо зимой точка эклиптики, противоположная Солнцу, видна ночью (в умеренных широтах) всего дольше и поднимается всего выше над горизонтом. Поэтому кометы, открытые летом, должны иметь группировку перигелиев около 270°, а зимой — около 90° долготы. Кометы с малыми перигельными расстояниями должны давать обратную группировку. В южном полушарии выводы будут те же, только долготы увеличатся на 180°. В итоге должно получиться увеличение числа перигелиев к 90° и 270° гелиоцентрической долготы. Дело не изменится и для комет, открываемых с мощными оптическими средствами, потому что указанная группировка перигелиев просто свидетельствует о наиболее благоприятных условиях для открытия комет, независимо от их яркости.

Голечек проверяет теоретическое распределение перигелиев по статистике кометных открытий в разные месяцы года и находит хорошее согласие. Кометы с малыми перигельными расстояниями, из-за их незначительного числа, заметного влияния на результат не оказывают.

[20] (Стр. 32). При визуальных наблюдениях метеоров размеры площади радиации увеличиваются неизбежными ошибками наблюдений; конечно, по этой же причине и координаты ее центра могут оказаться ненадежными (см. примеч. 54).

[21] (Стр. 34). Дальнейшие цитаты до конца параграфа в подлиннике приводятся по-английски.

[22] (Стр. 36). Многие авторы исследовали теоретически вопрос, при каких условиях радиант может представляться неподвижным на небе в течение более или менее длительного времени. Если речь идет о потоке, входящем в состав солнечной системы, задача становится неопределенной и даже бессмысленной, как это было блестяще показано Ф. А. Бредихиным в его работе «сложные (так называемые неподвижные) радианты падающих звезд». Можно сразу видеть, что метеоры, встречаемые Землей в различные месяцы, будут во всяком случае отличаться долготами узлов и гелиоцентрическими направлениями на перигелий или же величиной перигельного расстояния. Несколько иначе обстоит дело для потоков, которые могли бы приходить из мирового пространства и о существовании которых заключали по вычисленным гиперболическим скоростям болидов. Теперь вряд ли можно сомневаться, что эти скорости были преувеличены огромными личными ошибками, связанными с визуальными наблюдениями полета болидов, и мнение о существовании космических потоков метеоров оказалось построенным на песке. Заслуживает внимания, однако, что еще в 1880 г. Ниссль получил все необходимые теоретические условия для того, чтобы обширный поток метеоров, движущихся вдали от Солнца по параллельным путям с одинаковыми скоростями, давал стационарный видимый радиант на протяжении нескольких недель [1]. Довольно сложным анализом уравнений, связанных с определением орбит метеоров, он пришел к выражениям для суточного перемещения видимых и истинных радиантов при любых предположениях о скорости метеоров. Для радиантов на эклиптике смещение по широте, очевидно, будет отсутствовать, так как движение метеоров совершается в плоскости эклиптики (наклонение равно нулю). Радиант на протяжении года перемещается и вперед и назад по долготе; следовательно, найдутся эпохи, когда он будет останавливаться. Так, например, для параболической скорости радианты, следующие за Солнцем на 35° и 145° по долготе, будут представляться неподвижными. Первый из них вряд ли можно наблюдать из-за близости к Солнцу, второй же — недалек от оппозиции. В течение месяца (охватывающего симметрическим образом эпоху стояния) радиант перемещается немного более 2°, что лежит на пределе точности наблюдений. Выходит, что неподвижные радианты теоретических космических потоков могут иногда существовать вблизи эклиптики и во всяком случае не слишком долго; движение таких потоков — прямое. В известной мере рассуждения Ниссля могут быть распространены на метеорные потоки, движущиеся

[1] Niessl. Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften Wien, 1882, B. 83, II, p. 96.

по эллиптическим орбитам больших размеров и с длительными периодами обращения. Для таких орбит (близких к параболе) можно считать, что скорости метеоров на большом расстоянии от Солнца равны и параллельны.

[23] (Стр. 40). Объяснение Рэниярда основано на том, что вследствие суточного движения по небу радиант вечером приближается к зениту и зенитное притяжение, значительное для Андромедид из-за их малой геоцентрической скорости, уменьшается (в зените оно равно нулю). Это вызывает кажущееся перемещение радианта в направлении к горизонту или, в данном случаев, приблизительно к востоку.

[24] (Стр. 44). Здесь речь идет о потоке Лирид, связанном с кометой 1861 I.

[25] (Стр. 45). Следует добавить, что эта плоскость проходит через радиус-вектор кометы (см. примеч. 8).

[26] (Стр. 48). Цитата в подлиннике приведена по-английски.

[27] (Стр. 51). Сомнения Ф. А. Бредихина в быстром смещении радианта Персеид были совершенно основательны. В 1901 г. Деннинг заменил, без объяснения причин, приведенные в тексте координаты радианта для последних дней явления следующими [1]:

Дата		α	δ
Августа	14	51°	+57°
	15	53	56
	16	53	58
	17	54	60
	18	55	59
	19	57	$58^1/_2$

Очевидно, смещение стало гораздо менее быстрым. Новые телескопические наблюдения Персеид А. М. Бахарева в Сталинабаде [2] подтверждают это заключение, как показывают (округленные) данные для этих дней:

Дата		α	δ
Августа	14	56°	58°
	16	57	59
	18	57	58

[1] Monthly Notices of the R. A. S., 1901, vol. 62, p. 163.

[2] А. М. Бахарев. Радианты и орбиты Персеид и Орионид в 1942 г. по телескопическим наблюдениям. Бюллетень Всесоюзного астрономо-геодезического общества, 1948, № 4 (11), стр. 20.

[28] (Стр. 56). В подлиннике цитата приведена по-английски; в «Теории метеоров» Ф. А. Бредихин дает приведенный нами русский перевод.

[29] (Стр. 59). Критика Ф. А. Бредихина, направленная против существования неподвижных (стационарных) радиантов, имела решающее значение для развития метеорной астрономии. Так как мнение о возможности таких радиантов пытались поддерживать и в последующие годы, Ф. А. Бредихину приходилось неоднократно возвращаться к подтверждению своих совершенно неоспоримых заключений. Уже после того, как теоретические выводы Ф. А. Бредихина получили общее признание (см. примеч. 126), в нынешнем столетии выяснилась ненадежность наблюдений и шаткость тех приемов обработки, при помощи которых Деннинг строил свои стационарные радианты.

[30] (Стр. 60). Описание наблюдения Скиапарелли в подлиннике приведено по-итальянски.

[31] (Стр. 61). Эти потоки следующие: Леониды, связанные с кометой 1866 I и наблюдавшиеся 11—13 ноября, причем особенно замечательные метеорные дожди были в 1799 и 1833 гг.; Персеиды, связанные с кометой 1862 III и наблюдаемые ежегодно довольно длительное время до и после эпохи максимума — 11 августа; Лириды, связанные с кометой 1861 I и наблюдаемые около 21 апреля; Андромедиды, связанные с кометой Биела и давшие блестящие дожди метеоров в 1872 и 1885 гг.

Впоследствии установлен еще ряд соответствий метеорных потоков с кометами, из числа которых можно назвать: Аквариды, наблюдаемые в начале мая, и Ориониды — в середине октября, связанные с кометой Галлея; Дракониды, наблюдавшиеся в 1933 и 1946 гг. и связанные с кометой Джиакобини — Циннера; Урсиды, связанные с кометой Виннеке.

[32] (Стр. 65). Слово diffuse, в скобках, приведено в пояснение самим Ф. А. Бредихиным в данном месте текста в статье «Теория метеоров», стр. 77.

[33] (Стр. 69). Приведенные числа соответствуют, на расстоянии 1 от Солнца, параболической скорости и скорости на орбите с большой полуосью $a = 2.21$ и временем обращения $T = 3.29$ лет (то-есть комете Энке).

[34] (Стр. 70). Абсолютный или относительный антиапекс метеоров, конечно, представляет то же самое, что истинный или видимый радиант.

[35] (Стр. 71). Мнение Ф. А. Бредихина не было должным образом оценено в течение длительного времени. Тому в немалой степени способствовало неправильное представление, что болиды, в том числе и такие, которые оканчивались падением метеоритов, обладают гиперболическими скоростями.

[36] (Стр. 72). Аргументация неверна: если продолжительность полета метеора или болида была преувеличена, скорость получится преуменьшенной. Тем не менее мнение Ф. А. Бредихина о скоростях болидов

было совершенно справедливо: вычисленные гиперболические скорости не соответствовали действительности. Однако ошибка в действительности связана не с преувеличением, а с преуменьшением продолжительности полета. В. В. Федынский пишет: «Продолжительность полета большинством наблюдателей систематически уменьшается на 10—70% и определяется со средней ошибкой 20—40%. Для случайных наблюдений ярких болидов эти погрешности еще больше, что обычно влечет за собой невероятно большие значения скорости полета, определенные из подобных наблюдений» [1]. Фотографические, а за последние годы и радиолокационные, наблюдения показали определенно, что процент метеоров со скоростями выше параболических ничтожен, если вообще такие метеоры существуют.

[37] (Стр. 73). Так как радиант этого метеорита не был определен, нельзя судить с уверенностью о его принадлежности потоку Андромедид. Все же подобное предположение не лишено некоторого вероятия. В пользу его говорит не только совпадение даты падения метеорита с сильным дождем Андромедид 27 ноября 1885 г., но и тот факт, что он, как большинство метеоритов, вероятно двигался из области антиапекса Земли, имея малую скорость, то-есть имел движение, мало отличавшееся или даже совпадавшее с движением потока Андромедид.

[38] (Стр. 74). Характерные элементы орбит этих комет таковы:

Комета	ω	☊	i	q	Равноденствие
Тэмпеля 2	185°	121°	13°	1.34	1873.0
Д'Арре	175	148	14	1.17	1851.0
1678	159	163	3	1.15	1678.0
Понса-Брукса . . .	199	253	74	0.78	1812.0
Тэттля	207	269	54	1.04	1790.0
1672	110	298	83	0.70	1672.0
Энке	182	334	14	0.33	1786.0
1231	121	14	6	0.95	1231.0
Биела	213	257	17	0.99	1772.0
1695	204	216	22	0.84	1695.0
Де Вико	279	64	3	1.19	1844.0
1585	331	38	6	1.09	1585.0
1843 I	82	1	144	0.006	1843.0
1880 I	86	6	145	0.006	1880.0
1882 II	70	346	142	0.008	1882.0

---

[1] В. В. Федынский. Метеоры. Астрономия в СССР за тридцать лет, 1948, стр. 92.

Некоторые из приведенных орбит старинных комет чрезвычайно ненадежны и даже недостоверны, в частности для кометы 1695. Впоследствии комета де Вико отождествлялась с кометой 1678 (также приведенной в табличке; см. также стр. 93).

В наше время С. В. Орлов и Т. В. Водопьянова обнаружили существование групп комет с пересекающимися орбитами[1]. Возникновение таких групп объясняется предположением, что некогда эти кометы образовались вследствие разделения первоначальной кометы в точке пересечения орбит.

[39] (Стр. 74). Даты этих взрывов: 17.7 и 18.2 сентября 1882 г. (см. стр. 31 указанной статьи).

[40] (Стр. 76). Наличие реакции на ядро кометы, вызванной истечением вещества, в настоящее время не вызывает более сомнений; почти у всех достаточно исследованных периодических комет обнаружено либо ускорение, либо замедление движения. Достойно внимания, что этот факт с давних пор постоянно проявлялся при вычислении движения периодических комет, однако странным образом господствовало убеждение, что все кометы, за единственным исключением кометы Энке, должны двигаться в согласии с гравитационной теорией.

[41] (Стр. 78). Элементы орбит для двух первых комет даны заметно неточно; в частности, долгота узла для кометы 1843 I равна 1°20′ (1843.0), для кометы 1880 I — 6°6′ (1880.0).

Все перечисленные ниже кометы имеют обратное движение, причем долгота перигелия указана по формуле

$$\pi = \Omega - \omega.$$

[42] (Стр. 84). Здесь нужно заметить, что V в уравнении (13) обозначает то же самое, что v' в уравнении (10), а для определения H и β (или H_1 и β') следует пользоваться формулами в статье «Происхождение космических метеоров» (стр. 11—12) в следующем порядке:

для параболической орбиты:

$$r = q \sec^2 \frac{v}{2},$$

$$H = \frac{2}{r},$$

$$\beta = 90° - \frac{v}{2};$$

[1] Т. В. Водопьянова. О результатах исследований 125 кометных орбит с точки зрения их взаимного пересечения. Астрономический журнал, 1940, т. 17, стр. 33—56.

для эллиптической орбиты:

$$r' = \frac{q(1+e)}{1+e\cos v},$$

$$H^2 = \frac{2}{r'} - \frac{1}{a},$$

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{1+e\cos v}{e\sin v}.$$

Оба значения r и r' должны, конечно, согласоваться между собой в точке отделения произведенной кометы: если этого нет, что легко может случиться, то проще всего добиться их равенства, изменяя перигельное расстояние той кометы, орбита которой менее надежна.

При подобных расчетах серьезное затруднение создается планетными возмущениями; если возмущения были велики, отождествление комет может оказаться необоснованным.

Укажем, что вычисление по формулам в тексте приведенного далее примера для кометы 1532 и кометы Брорзена, не представляя никаких принципиальных трудностей, потребовало выписывания 101 четырехзначного логарифма и чисел, причем многие выкладки были сделаны в уме. Это составляет заметную вычислительную работу.

[43] (Стр. 86). В последнем столбце таблицы указано прямое или обратное направление движения. Долготы перигелия даются по формуле:

$$\pi = \Omega + \omega \text{ для прямого движения}$$

$$\pi = \Omega - \omega \text{ » обратного »}$$

[44] (Стр. 90). Если отделение метеоров или вторичной кометы произошло в части орбиты, не очень удаленной от перигелия, расхождение производящей и производной орбиты в районе перигелия будет незначительно.

[45] (Стр. 92). Это утверждение ошибочно и справедливо обратное. Принадлежащие к группе Юпитера кометы с короткими периодами обращения и прямым движением испытывают сильные возмущения от этой планеты в афелиях их орбит. Если в результате этого уменьшается большая ось кометной орбиты, то и перигельное расстояние должно сокращаться, чтобы афелий мог попрежнему оставаться около орбиты Юпитера. Минимальная величина большой полуоси кометы не может стать меньше половины большой полуоси Юпитера, если комета не подвергалась действию других планет.

Воспользуемся известным критерием Тиссерана:

$$\frac{1}{a}+\frac{2\sqrt{p}}{a_1^{3/2}}\cos i=\text{const},$$

где a_1 — полуось орбиты Юпитера. Выразим здесь p через a и q и предположим, что $i=0$, то-есть орбита кометы лежит в плоскости орбиты Юпитера и, следовательно, остается в ней постоянно. Тогда для небольших изменений будем иметь:

$$dq=\frac{-q^2+a_1^{3/2}\sqrt{p}}{2a^2e}\,da.$$

Видно, что второй член по абсолютной величине больше первого, если перигелий кометы лежит внутри орбиты Юпитера (как это всегда и будет). Поэтому для кометы с малым наклонением знаки изменений a и q одинаковы.

[46] (Стр. 94). Элементы перечисленных комет даны в примеч. 38, кроме кометы Лекселя, для которой они приводятся здесь:

Комета	ω	☊	i	q	Равноденствие
Лекселя	224°	132°	2°	0.67	1770.0

Комета Лекселя не может, однако, отождествляться по этим элементам с другими кометами, так как она испытала очень сильные возмущения от Юпитера в 1767 г. и ее первоначальная орбита была совсем не та, что в 1770 г.

[47] (Стр. 102). В статье «Орбиты Биелид», написанной на три года позже (причем за это время произошел значительный максимум Андромедид в 1892 г.), Ф. А. Бредихин принимает гораздо более вероятный период для Андромедид, именно тот же самый, что и для кометы Биела, то-есть около $6\frac{1}{2}$ лет.

Подобная картина представилась и в нынешнем столетии. Поток Драконид дал сильные метеорные дожди в 1933 и 1946 гг., но период связанной с ним кометы Джиакобини — Циннера равен только половине этого интервала. Во время промежуточных прохождений метеоров через их узел — Андромедид в 1879 г., Драконид в 1940 г.— Земля была слишком удалена от этого узла, находясь в противоположной части своей орбиты (так как двойной период обращения метеоров близок к целому нечетному числу лет). По этой причине поток метеоров мог быть и незаметен.

[48] (Стр. 107). Это составляет 2 700 000 км.

[49] (Стр. 111). Приближенная формула

$$\sin\gamma = j\sin(\beta - J) : H$$

применяется здесь для упрощения при грубом расчете, так как в строгом выражении

$$\sin\gamma = j\sin(\beta - J) : H_1$$

H_1 само будет зависеть от J и j.

Эллиптическое сечение пучка орбит метеоров получается как геометрическое следствие сложения векторов скорости извержения для разных частиц пучка с вектором орбитальной скорости ядра. В этом не трудно убедиться, если дополнить рис. 1 вектором $\boldsymbol{j}$ с углом J отрицательным (по другую сторону от радиуса-вектора кометы). Можно показать, что пучок орбит будет наиболее сжат в направлении, параллельном плоскости орбиты в случае истечений, происходящих в перигелии, когда $\beta = 90°$. Если пределы J сравнительно узкие, выброшенные частицы расположатся почти в плоскости, перпендикулярной к радиусу-вектору, а сечение пучка орбит плоскостью, перпендикулярной к линии орбиты ядра, представит почти прямую линию, направленную к полюсу орбиты. Если истечение происходит не в перигелии, то плоскости, перпендикулярные к радиусу-вектору орбиты и к самой орбите, уже не образуют между собой прямого угла; следовательно, сечение пучка последней плоскостью будет иметь известную ширину в плоскости орбиты, но эллиптическая форма сечения все-таки останется.

[50] (Стр. 111). Здесь речь идет о пересечении с поверхностью конуса; далее рассматриваются углы J внутри конуса.

[51] (Стр. 117). Цитаты в подлиннике приведены по-английски.

[52] (Стр. 119). Диаметр первого круга — около 4°, второго — 7°, третьего — 10°, четвертого — 13° и пятого — 17°.

[53] (Стр. 120). В подлиннике Ф. А. Бредихин цитирует Скиапарелли по-немецки.

[54] (Стр. 131). Эти вычисления влияния ошибок наблюдений на увеличение кажущейся площади радиации дают, вообще говоря, преуменьшенный результат. В наше время П. В. Ермаков определил среднюю ошибку наблюденного направления пути метеора в 13° [1]. Влияние систематических ошибок также очень значительно. Кроме того, в число Персеид могли быть засчитаны метеоры, относящиеся к другим радиантам, действующим одновременно. Советскими наблюдениями были уста-

[1] П. В. Ермаков. Об ошибках при наблюдении метеоров. Бюллетень коллектива наблюдателей Всесоюзного астрономо-геодезического общества, 1937, № 43.

новлены теоретически и экспериментально критерии, по которым можно судить о реальности того или иного радианта. Как указывает В. В. Федынский [1]: «Радиант может считаться реальным, если он выведен из наблюдений, полученных в течение одной ночи: 1) пересечением путей трех метеоров, угловая длина и элонгация от радианта которых удовлетворяют определенному соотношению, а физические свойства близки между собой; 2) пересечением путей четырех метеоров, для которых выполняется первое из названных выше условий; 3) пересечением минимального относительного числа метеоров, определяемого следующей табличкой:

Число метеоров	
общее	из одного радианта
10	4
20	5
30—40	6
50—60	7
70—80	8
90	9
100	10

«Эти правила, гораздо более разносторонние и гибкие, чем, например, правила Американского метеорного общества (содержащие только пункт второй, да и то в неполной, а потому и неверной формулировке), применяются в последние годы в СССР для обработки многих тысяч наблюдений».

Заметим, что по фотографическим наблюдениям диаметр площади радиации Персеид в эпоху их максимума равен приблизительно 2° [2].

[55] (Стр. 139). То-есть в «Известиях Академии Наук», выходивших тогда под французским названием.

[56] (Стр. 149). Наклонение метеорной орбиты зависит от координат истинного радианта, вычисляемых с помощью долготы апекса движения Земли по формулам, приведенным в статье «Происхождение космических метеоров» (стр. 25—26), вывод которых дан в примеч. 17. Однако там предполагается круговое движение Земли. Возникающая от эксцентриситета земной орбиты поправка долготы апекса не достигает одного градуса (см. примеч. 84), что соответствует малой величине эксцентриситета—

---

[1] В. В. Федынский. Метеоры. Астрономия в СССР за тридцать лет, 1948, стр. 92.

[2] Whipple. Meteor problems and photographs of the Perseids. Sky and Telescope. 1947, vol. VI, № 10.

0.0167. Влияние этой поправки на элементы орбиты метеоров также невелико и для данного радианта меняется с течением времени вследствие перемены места апекса.

[57] (Стр. 150). Выводы Калландро о возмущениях наклонений для комет с обратным движением, повидимому, остались неопубликованными. Однако они не могут иметь того общего значения, которое им придано в цитируемом письме к Ф. А. Бредихину. Другого рода результат был получен Калландро в его исследовании по теории периодических комет: если происходит захват кометы Юпитером, причем наклонение кометы близко к 90°, то это наклонение будет возрастать, иначе сказать, величина 180° — i (наклонение для обратного движения) будет убывать [1].

Напомним, что при захвате кометы ее параболическая или близкая к параболе орбита обращается в эллиптическую.

Обратимся к критерию Тиссерана:

$$\frac{1}{a}+\frac{2\sqrt{p}\cos i}{a_1^{3/2}}=\text{const}=c$$

и положим $i=90°$; тогда

$$\frac{1}{a}=c.$$

Пусть, согласно сказанному, в результате возмущений большая полуось орбиты уменьшилась и стала a', тогда, обозначая новое наклонение i', имеем:

$$\frac{2\sqrt{p}\cos i'}{a_1^{3/2}}=c-\frac{1}{a'}=\frac{1}{a}-\frac{1}{a'}<0.$$

Следовательно, $\cos i'$ отрицателен, то-есть наклонение стало больше 90°. Это заключение, впрочем, известное и ранее, Калландро обосновал гораздо более сложным рассуждением, чем здесь, но оно не имеет отношения к Персеидам, для которых вовсе не обнаружено определенного уменьшения большой оси в итоге возмущений от планет.

Впоследствии Ф. А. Бредихин не ограничился теми результатами, которые им были получены в статье «О рассеянии радиантов»; в работе «Вековые возмущения кометы 1862 III и ее производных орбит» он нашел после обширных вычислений точные численные величины искомых возмущений элементов.

---

[1] Callandreau. Étude sur la théorie des comètes périodiques Annales de l'Observatoire de Paris, Mémoires, 1892, t. XX

Второе замечание Калландро, касающееся влияния планетных возмущений на расхождение радиантов до и после максимума потока, конечно, правильно, но имеет слишком общий характер.

[58] (Стр. 150). См. далее статью «О рассеянии радиантов».

[59] (Стр. 151). Протяжение площади радиации получилось столь большим оттого, что сравнивали положения ряда ненадежных радиантов; в действительности площадь радиации гораздо меньше.

[60] (Стр. 161). Цитата в подлиннике приведена по-итальянски (вторично в этой книге, см. стр. 60).

[61] (Стр. 164). Возраст потока Персеид трудно оценить с достоверностью, но несомненно, что он велик. Поэтому влияние планетных возмущений и светового давления Солнца на расширение метеорного кольца могло стать чувствительным, несмотря на неблагоприятные обстоятельства для проявления этих действий (сильно вытянутая форма орбиты и большое наклонение). См. примеч. 11.

[62] (Стр. 178). Три первые значения i, о которых здесь идет речь, относятся к наблюдениям 1893 г. и помещены в предыдущей таблице на стр. 177. Просмотр приведенных в тексте таблиц показывает, что наблюдения не позволили уверенно определить координаты радиантов и элементы орбит потока. В частности, заметен скачок между 10 и 11 августа. Но такая неточность — вещь неизбежная при использовании малочисленных визуальных наблюдений. Многие радианты были определены только по двум метеорам, и они не могут считаться реальными; другие радианты могут не принадлежать к Персеидам, и это прямо относится к метеорам, наблюдавшимся после примерно 20 августа, когда поток Персеид кончает свою деятельность.

[63] (Стр. 184). Впоследствии Ф. А. Бредихин заметил, что поправки, обязанные зенитному притяжению и суточной аберрации, были здесь введены неправильно, и внес соответствующее исправление (см. стр. 249). Небольшая неточность вкралась также и в прецессию: поправка по склонению составит не $+0\overset{\circ}{.}4$, а только $+0\overset{\circ}{.}2$.

[64] (Стр. 193). Так как перигелий орбиты кометы Биела находится на расстоянии 44° от ее нисходящего узла, в котором наблюдаются Андромедиды, то метеоры, наблюдающиеся после прохождения Земли через узел кометы, должны иметь меньшее наклонение, чем комета. Чтобы убедиться в этом, достаточно сделать небольшой чертеж, изображающий эклиптику, орбиту кометы около ее нисходящего узла, точку истечения метеоров, имеющую, по предположению Бредихина, аномалию —50°, следовательно, лежащую несколько выше эклиптики, и какую-либо орбиту метеоров, пересекающую эклиптику после узла кометы. Эта орбита будет иметь наклонение меньшее, чем комета.

[65] (Стр. 194). Цитата в подлиннике приведена по-английски.

[66] (Стр. 197). Эта выдержка из статьи Геррика дана в подлиннике по-английски (также и в соответственном месте «Теории метеоров», стр. 66).

[67] (Стр. 197). Фраза Денца приведена в подлиннике по-итальянски; в «Теории метеоров» дается приведенный здесь русский перевод.

[68] (Стр. 199). Цитата в подлиннике приведена по-немецки; русский перевод заимствован из «Теории метеоров», стр. 69.

[69] (Стр. 200). Периоды обращения метеоров в 20, 40, а также в 13 лет,— все являются кратными периода кометы Биела — 6.6 лет, и это, конечно, не случайное совпадение. Известный факт, что метеоры, связанные с кометой Биела и имеющие ее период, не наблюдались во время некоторых прохождений через узел, объясняется, помимо случайных причин, тем, что Земля в это время могла находиться далеко от узла.

[70] (Стр. 200). Цитата в подлиннике приведена по-английски.

[71] (Стр. 207). Для ясного представления о перечисленных случаях прохождения метеоров через сферу действия Юпитера надо иметь в виду, что кратчайшее расстояние между Юпитером и орбитой метеоров представит собой перпендикуляр, опущенный из центра Юпитера на линию орбиты метеора. Последнее замечание в тексте относится к обратным орбитам, к числу которых принадлежит орбита Персеид.

[72] (Стр. 209). Наклонение орбиты метеора берется относительно плоскости орбиты Юпитера, потому что направление движения последнего должно совпадать с осью x; это наклонение измеряется дугой cg, равной углу chg. Скорость Юпитера обозначается через v_1; она служит для отыскания относительной скорости метеора, после чего применение параллелограма скоростей дает (3). Вывод остальных соотношений из рис. 9 на стр. 208 не представляет затруднений; на этом и двух следующих чертежах сфера, описанная около центра Юпитера, представляет его сферу действия. Единица времени, как и прежде, равна $1/k$ суток. В подлинном тексте фигурируют неудобные обозначения σ^1 и т. д., возникшие, очевидно, по недоразумению при печатании статьи в «Известиях Академии Наук» и перешедшие затем в «Этюды»; эти обозначения не соответствуют чертежам и русскому переводу в «Теории метеоров», где обозначения правильные.

[73] (Стр. 210). Сфера на рис. 10 на стр. 210 повернута на 90° против часовой стрелки по отношению к ее расположению на рис. 9. На обоих чертежах большой круг $cabeAq$ изображает сечение сферы плоскостью, в которой лежат векторы скоростей Юпитера и метеора, проходящего через центр планеты. Эта плоскость играет важную роль: в ней лежат также векторы скоростей метеоров в третьем и четвертом случаях, так как, с одной стороны, эти метеоры находятся в узле на том же самом расстоянии от Солнца, что и Юпитер, следовательно, пересекают

ось x, с другой стороны, их векторы скоростей параллельны скорости центрального метеора.

[74] (Стр. 210). Чтобы получить выражение (12), надо вспомнить, что видимый с Солнца угловой радиус сферы действия Юпитера невелик. В первом члене $\cos\nu\cos(\alpha+\alpha') = \cos(qc')$ есть синус сферического расстояния точки q от плоскости yz, проходящей через Солнце и центр Юпитера; следовательно, приближенно весь первый член есть синус малой разности долгот метеора и Юпитера. Во втором члене, как не трудно убедиться, $\sin\rho\sin\nu$ есть синус (южной) широты метеора, а весь второй член, опять-таки приближенно, представит синус малого расстояния метеора от узла по долготе. Отсюда же вытекает формула (13).

[75] (Стр. 212). В формуле (20) множитель $\cos\nu\cos(P-\alpha)$ есть косинус сферического расстояния $c'h$, или синус сферического расстояния точки h от плоскости yz; в остальном формула эта соответствует уравнению (12). Смысл замечания, что $\cos\varepsilon$ можно положить равным единице, не ясен, так как в общем случае ε не есть малый угол.

[76] (Стр. 215). В первоначальном тексте статьи и в «Теории метеоров»[1] эта фраза звучала по-иному:

«Считаю лишним приводить здесь простой вывод этих формул, тем более что они проверены в тех приложениях, в которых неоднократно употреблял их мой уважаемый товарищ О. А. Баклунд».

Что касается самих формул для вычисления возмущений орбит метеоров, то они хорошо известны и давно входят в курсы теоретической астрономии и, разумеется, можно было не давать их вывод или ссылаться на кого-либо. Заметим, что Ф. А. Бредихин в своих вычислениях принимал, что метеор, имеющий в узле радиус-вектор, равный радиусу-вектору Юпитера, есть тот, который обозначен номером 5 в таблицах выше. Из этих таблиц найдены интерполяцией $\lg a$, $\lg e$, $\lg\mu$ и $v = 180° - \omega$ для метеора, проходящего в узле на 0.15 ближе к Солнцу, чем Юпитер; для остальных метеоров эти величины получены частью интерполяцией, частью экстраполяцией. Координаты Юпитера относительно метеора вычислялись после того, как орбита последнего была отнесена к плоскости орбиты Юпитера, поэтому широты Юпитера считались равными нулю.

[77] (Стр. 219). Незначительная величина возмущений узла объясняется большим наклонением орбиты метеоров к орбите Юпитера. Если возмущения вычисляются вблизи от узла метеоров, как в данном случае, то входящий в выражение (10) для дифференциального коэффициента возмущений узла множитель $\sin(v+\omega)$ мал, ибо $v+\omega$ есть аргумент

[1] Sur la dispersion des points radiants des météores. Bulletin de l'Acad. des Sciences de St.-Pét., 1892, nouv. série, t. III (XXXV), p. 199; «Теория метеоров», стр. 97.

широты метеора, который обращается в нуль в узле. Если же метеор уходит от узла, то его расстояние от орбиты Юпитера возрастает, и возмущения малы по этой причине.

И. С. Абельман вычислил аналогичным образом возмущения узла, наклонения и долготы перигелия, происходящие от Сатурна, Урана и Нептуна, причем рассматривал разные метеоры, каждый из которых приближался в своем узле к одной из этих планет. Но эти возмущения, как и можно было ожидать, оказались незначительными по сравнению с возмущениями от Юпитера[1].

[78] (Стр. 221). Весь анализ характера возмущений различных элементов орбит метеоров при тех или иных обстоятельствах прохождений через сферу действия Юпитера проведен Ф. А. Бредихиным чрезвычайно тонко и своеобразно. Ход его выводов становится ясен, если обратить внимание, что линия AB есть след плоскости, в которой лежит вектор скорости Юпитера и которой параллельны векторы скоростей метеоров,— на перпендикулярной к ней плоскости, проходящей через радиус-вектор Юпитера и нормаль к его орбите. Полезно сделать несколько грубых рисунков, подобных рис. 12 на стр. 221, и на каждом из них написать в соответственных точках изменения какого-либо одного из элементов, пользуясь табличками на стр. 218 с результатами вычислений возмущений для восьми типических метеоров.

[79] (Стр. 224). Слова, поставленные в скобки, прибавлены Ф. А. Бредихиным для ясности в русском тексте «Теории метеоров».

[80] (Стр. 226). См. выше стр. 133.

[81] (Стр. 227). Полученные здесь радианты очень ненадежны из-за малочисленности наблюдений и их малой точности, обнаруживающейся, если сравнить данные разных наблюдателей для одних и тех же метеоров.

[82] (Стр. 237). По поводу исследований Калландро см. примеч. 57.

[83] (Стр. 249). Поток Андромедид в 1892 г. не только наблюдался на 4 дня ранее, но и был значительно слабее, чем в 1872 и 1885 гг. После этого Биелиды наблюдались в 1899 г. в еще меньшем количестве (максимальное число метеоров порядка 100 в час); в XX веке они проявляли себя слабо. После перерыва, в 1940 г., наблюдалось 2 метеора в час. С течением времени планетные возмущения увеличили радиус-вектор орбиты метеоров в нисходящем узле и удалили поток от земной орбиты.

[84] (Стр. 251). Не касаясь обычных формул для зенитного расстояния и параллактического угла и выражений для гелиоцентрической и геоцентрической скорости (см. примеч. 17), рассмотрим зенитное притя-

---

[1] И. С. Абельман. О движении некоторых метеорных потоков. Известия Русского астрономического общества, 1898, вып. VII, № 1—3, стр. 72—73.

жение и суточную аберрацию метеоров и положение апекса движения Земли.

Возмущающее действие Земли сравнительно невелико и становится заметным, когда метеор находится уже на небольшом расстоянии от Земли. Поэтому в данном вопросе можно отвлечься от притяжения Солнца и рассматривать геоцентрическое движение метеоров как прямолинейное и равномерное.

Подходя к Земле, метеор опишет под действием ее притяжения коническое сечение с фокусом в центре Земли. Геоцентрическая скорость метеора w определяется уравнением

$$w^2 = k^2 m\left(\frac{2}{\rho} - \frac{1}{a}\right), \qquad \text{(a)}$$

где m — масса Земли (масса Солнца $= 1$); ρ — геоцентрическое расстояние метеора; a — полуось его геоцентрической орбиты; единицами длины и времени служат солнечные сутки и астрономическая единица. Положив $\rho = \infty$, мы получим отсюда геоцентрическую скорость на бесконечном расстоянии от Земли, но эта величина будет просто выражать скорость метеора в невозмущенном Землей движении (так как мы считаем его прямолинейным и равномерным). Обозначая эту скорость через u, имеем

$$u^2 = -\frac{k^2 m}{a}; \quad a = -\frac{k^2 m}{u^2} \qquad \text{(б)}$$

следовательно,

$$w^2 = u^2 + \frac{2k^2 m}{\rho}. \qquad \text{(в)}$$

Большая полуось орбиты отрицательна, то-есть метеор описывает около Земли гиперболу. Если скорость w наблюдается у самой поверхности Земли (это не совсем точно: мы видим метеор на небольшой высоте над собой в атмосфере), то можно положить ρ равным радиусу Земли R, а затем ввести ускорение притяжения Земли, считая ее за шар,

$$g = \frac{k^2 m}{R^2}.$$

Заметим, что это ускорение будет немного больше обычного ускорения тяжести, потому что метеор не участвует во вращении Земли. Отсюда и из формулы (в) следует:

$$w^2 = u^2 + 2gR. \qquad \text{(г)}$$

Кроме этого увеличения скорости, метеор испытает изменение направления движения. В бесконечности метеор двигался по ветви гиперболы $BMPC$ (см. рис. 5) параллельно ее асимптоте, то-есть в направлении

AO, образующем с направлением на зенит наблюдателя OZ угол AOZ — истинное зенитное расстояние радианта. Метеор наблюдается на малом отрезке гиперболы около точки M, изображающей положение наблюдателя и метеора, а направление движения последнего совпадает с направлением касательной к гиперболе TM. Угол $AOT' = \psi$ есть зенитное притяжение. Путь метеора фактически кончается в точке M, и перигей гиперболы лежит в P на пунктирной части кривой внутри Земли. $\angle POM = v$ есть истинная аномалия метеора, которую мы условимся для удобства считать положительной (хотя метеор в действительности не доходит до перигея). Из чертежа видно, что

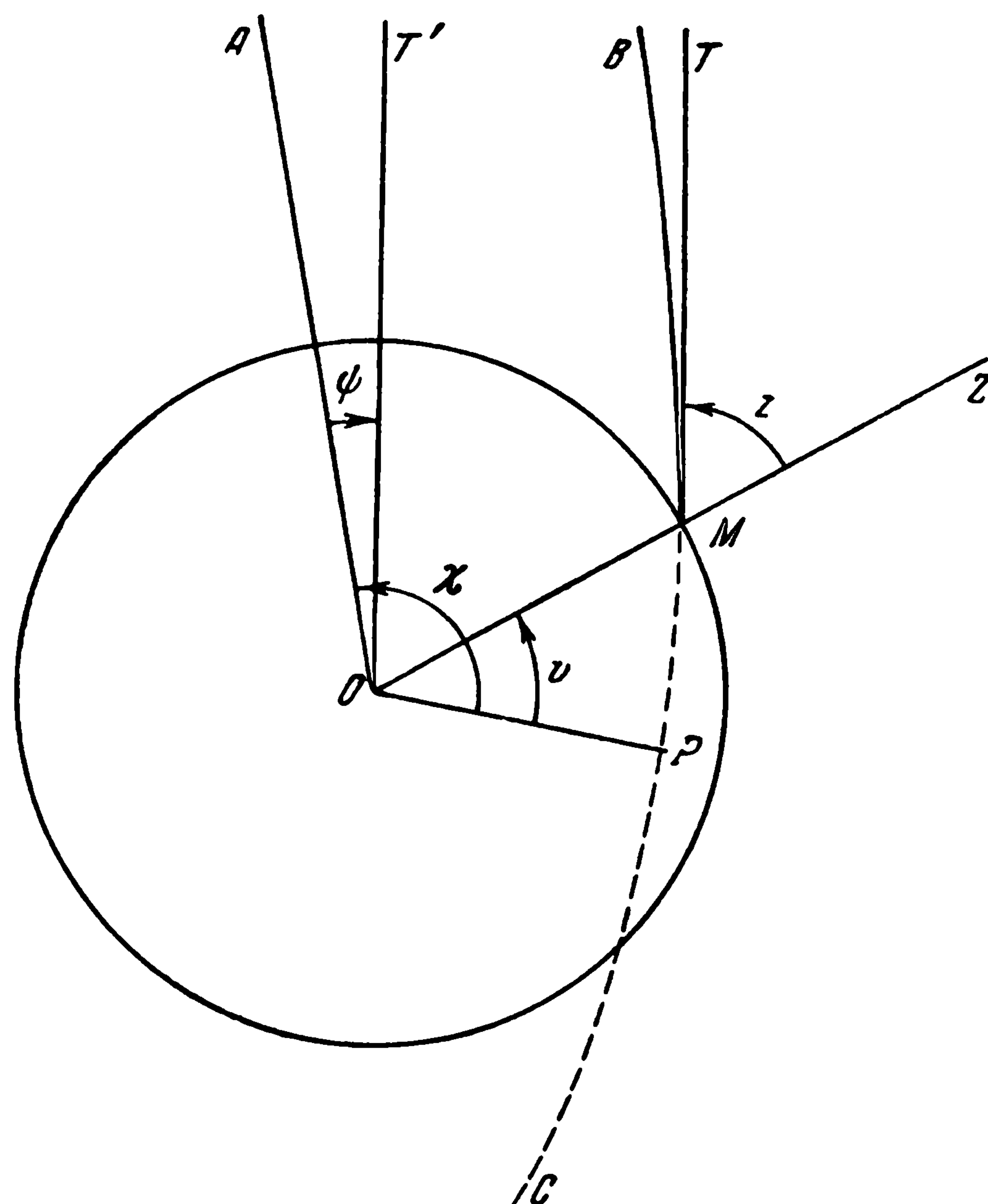


Рис. 5

$$\psi = \chi - v - z,$$

где χ — тупой угол асимптоты с направлением большой оси гиперболы. Будем отыскивать

$$\operatorname{tg}\frac{1}{2}\psi = \frac{\operatorname{tg}\frac{1}{2}(\chi - v) - \operatorname{tg}\frac{1}{2}z}{1 + \operatorname{tg}\frac{1}{2}(\chi - v)\operatorname{tg}\frac{1}{2}z}. \qquad (д)$$

Можно написать:

$$\operatorname{tg}\frac{1}{2}(\chi - v) = \frac{\cos v - \cos\chi}{\sin v + \sin\chi}. \qquad (е)$$

Обратимся теперь к интегралу площадей

$$\rho^2\frac{dv}{dt} = k\sqrt{m}\sqrt{p}$$

и заметим еще, что

$$\rho \frac{dv}{dt} = w \sin z;$$

отсюда получим:

$$p = \frac{\rho^2 w^2 \sin^2 z}{k^2 m}. \tag{ж}$$

С другой стороны,

$$\rho = \frac{p}{1 + e \cos v}; \tag{з}$$

кроме того, зенитное расстояние, как видно из чертежа, есть угол между касательной к орбите метеора и радиусом-вектором, ранее обозначенный β; выражение его дано на стр. 13, именно:

$$\operatorname{tg} z = \operatorname{tg} \beta = \frac{1 + e \cos v}{e \sin v}. \tag{и}$$

Уравнения (з) и (и) дают:

$$\left.\begin{aligned} \cos v &= \frac{1}{e}\left(\frac{p}{\rho} - 1\right), \\ \sin v &= \frac{p}{e\rho} \operatorname{ctg} z. \end{aligned}\right\} \tag{к}$$

Угол асимптоты с большой осью ψ является тем значением истинной аномалии, для которого ρ обращается в бесконечность; поэтому легко видеть, что

$$\cos \chi = -\frac{1}{e},$$

$$\sin \chi = \frac{\sqrt{e^2 - 1}}{e} = \frac{1}{e}\sqrt{-\frac{p}{a}}. \tag{л}$$

Подставляя уравнения (к) и (л) в (е), находим:

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2}(\chi - v) = \frac{\frac{p}{\rho}}{\frac{p}{\rho} \operatorname{ctg} z + \sqrt{-\frac{p}{a}}} = \frac{1}{\operatorname{ctg} z + \frac{\rho}{\sqrt{-pa}}},$$

или, пользуясь уравнениями (б) и (ж),

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2}(\chi - v) = \frac{1}{\operatorname{ctg} z + \frac{u}{w \sin z}} = \frac{w \sin z}{u + w \cos z}.$$

После этого уравнение (д) приводится к такому виду:

$$\operatorname{tg}\frac{1}{2}\psi = \frac{w\sin z - (u + w\cos z)\operatorname{tg}\frac{1}{2}z}{u + w\cos z + w\sin z\operatorname{tg}\frac{1}{2}z} =$$

$$= \frac{w\sin z\operatorname{ctg}\frac{1}{2}z - u - w\cos z}{u + w\cos z + w\sin z\operatorname{tg}\frac{1}{2}z}\operatorname{tg}\frac{1}{2}z = \frac{w-u}{w+u}\operatorname{tg}\frac{1}{2}z.$$

Поправка ψ должна быть прибавлена к наблюденному зенитному расстоянию радианта; она зависит только от отношения $\frac{u}{w}$ невозмущенной корости метеора к скорости, увеличенной притяжением Земли, и от видимого зенитного расстояния радианта. Скиапарелли первый построил таблицу, дающую по двум аргументам величину зенитного притяжения. Соответствующие поправки можно ввести непосредственно в экваториальные координаты. Если пренебречь вторыми степенями искомых поправок, можно, пользуясь параллактическим треугольником, спроектировать ψ на часовой круг и суточную параллель радианта, что даст:

$$\Delta\alpha\cos\delta = -\psi\sin p,$$

$$\Delta\delta = -\psi\cos p.$$

Для вывода суточной аберрации радианта заметим, что линейная скорость вращения наблюдателя вокруг оси Земли равна (в принятых Бредихиным единицах)

$$\frac{366.24}{365.24}\,2\pi R\cos\varphi = A\cos\varphi,$$

где первый множитель есть отношение средних суток (единицы времени) к звездным суткам (продолжительности оборота Земли). Введем прямоугольную экваториальную систему координат с осью x, направленной в точку весеннего равноденствия; компоненты скорости наблюдателя будут:

$$-A\cos\varphi\sin\theta,$$
$$A\cos\varphi\cos\theta,$$
$$0,$$

где θ — звездное время.

Если w' — видимая скорость метеоров, α' и δ' — видимые координаты радианта, а те же буквы без штрихов обозначают величины, исправленные от суточной аберрации, то

$$-w\cos\delta\cos\alpha = -w'\cos\delta'\cos\alpha' - A\cos\varphi\sin\theta,$$

$$-w\cos\delta\sin\alpha = -w'\cos\delta'\sin\alpha' + A\cos\varphi\cos\theta,$$

$$-w\sin\delta = -w'\sin\delta'.$$

Умножая эти уравнения на следующие группы множителей:

$$\begin{array}{r|c|r} \sin\alpha' & \sin\delta'\cos\alpha' & -\cos\delta'\cos\alpha' \\ -\cos\alpha' & \sin\delta'\sin\alpha' & -\cos\delta'\sin\alpha' \\ & -\cos\delta' & -\sin\delta' \end{array}$$

складывая и полагая $\cos(\alpha-\alpha') = 1$, $\cos(\delta-\delta') = 1$, получаем:

$$\alpha - \alpha' = \frac{A}{w\sin 1'}\cos\varphi\sec\delta\cos\tau,$$

$$\delta - \delta' = = \frac{A}{w\sin 1'}\cos\varphi\sin\delta\sin\tau,$$

$$w - w' = A\cos\varphi\cos\delta\sin\tau.$$

В первых двух уравнениях результат выражен в минутах дуги. Поправка скорости имеет существенное значение только в том случае, если видимая скорость получена с значительной точностью из фотографических наблюдений. Замечание Ф. А. Бредихина о численном значении константы аберрации относится к рецензии Харцера на книгу И. А. Клейбера «Определение орбит метеорных потоков»; там[1] эта константа действительно выражена в градусах, но это правильно, ибо за единицу скорости взята средняя орбитальная скорость Земли, вследствие чего полученная выше константа умножается на $\frac{1}{k} = 58.13$ (отпадает множитель k в выражениях для скорости Земли и метеоров) и достигает почти одного градуса.

Долгота земного апекса получается из общего для всех конических сечений уравнения

$$R = \frac{a(1-e^2)}{1 + e\cos v},$$

где все величины относятся к Земле. Положив $a = 1$, $v = 180° + \lambda - \omega$ (ω — долгота перигелия Земли), получим:

$$R = \frac{1-e^2}{1 - e\cos(\lambda-\omega)}.$$

[1] Vierteljahrschrift der Astronomischen Gesellschaft, 1891, B. 26, p. 214.

Угол касательной к земной орбите (направления на апекс) с радиусом-вектором Земли определяется уравнением

$$\operatorname{tg}(\lambda - L) = -\frac{Rd\lambda}{dR} = \frac{1 - e\cos(\lambda - \omega)}{e\sin(\lambda - \omega)} = \frac{1 - e^2}{e} \frac{1}{R\sin(\lambda - \omega)},$$

как и приведено в тексте.

Отметим, что можно вводить суточную аберрацию в положение апекса, придавая скорость вращения наблюдателя к скорости орбитального движения Земли (которая из-за этого, конечно, немного изменится и по численной величине). Это удобнее для составления таблиц, так как эффект будет зависеть только от времени; координаты радианта не изменятся; скорость метеоров для этой цели вычислять не надо. Но зато широта апекса не будет более равной нулю и формулы для вычисления элементов орбиты станут громоздкими.

[85] (Стр. 253). И. С. Абельман в 1898 г. в статье, цитированной в примеч. 77, нашел, что между 1900.8 и 1902.2 возмущающее действие Юпитера вызовет дальнейшее смещение узла на —6.°2, вследствие чего максимум потока впоследствии переместится на 17 ноября.

[86] (Стр. 255). Если обозначить угол между касательными к земной орбите и к орбите метеоров в точке их пересечения (в узле) через y, можно написать очевидное соотношение

$$\cos y = \cos\beta\cos i.$$

Толщина потока D и путь L, пройденный Землей внутри его, связаны формулой

$$D = L\sin y,$$

если Земля пересекает ось цилиндрического потока; если же Земля проходит на расстоянии d от оси, то

$$D^2 = L^2\sin^2 y + d^2.$$

Полученные Ф. А. Бредихиным размеры облака выражены в географических милях (1 географич. миля = 7.42 км), и они настолько велики, что метеорный рой не может быть объяснен простым распадом кометы на метеоры под действием солнечного притяжения.

Этот замечательный вывод Ф. А. Бредихина является важным подтверждением его теории образования метеорных роев.

[87] (Стр. 255). Периодическая комета 1889 V, открытая Бруксом, принадлежит к наиболее интересным светилам этого рода. За три года до ее открытия, в 1886 г. она прошла через сферу действия Юпитера, причем

в момент наибольшего сближения находилась от поверхности Юпитера на расстоянии, немного большем радиуса последнего. Приливное действие Юпитера могло в данном случае оказаться достаточным, чтобы вызвать деление рыхлого ядра кометы на части. Четыре спутника, наблюдавшиеся у кометы в августе — октябре 1889 г., меняли свою яркость, но были вообще довольно слабы. С тех пор комета вторично прошла через сферу действия Юпитера в 1922 г., и в 1925 г. была снова открыта Г. А. Шайном и В. А. Альбицким в Симеизе. Комета Брукса обнаружила значительное ускорение движения, наподобие кометы Энке; орбита ее неоднократно изменялась во время прохождений через сферу действия Юпитера; так, ее период составлял 31.4 года до сближения с Юпитером в 1886 г.; 7.1 лет — между 1889 и 1918 гг.; 6.9 лет — после 1925 г. Несмотря на то, что перигельное расстояние кометы Брукса лишь немного не достигает двух астрономических единиц, у нее даже в предпоследнем появлении, в 1946 г., наблюдался небольшой хвост.

Работа Ф. А. Бредихина «О спутниках кометы 1889 V (Брукс, 6 июля)»[1] содержит в первую очередь определение орбит спутников, обозначенных буквами C и E; эти орбиты пересекают орбиту главной кометы A недалеко от ее афелия, почти в одной точке; спутники двигались почти точно в плоскости орбиты главной кометы. Вычисление орбит было выполнено самим Ф. А. Бредихиным и начинавшим тогда свою астрономическую деятельность студентом С. К. Костинским (см. стр. 499—500). Для спутников B и D не было достаточного наблюдательного материала, и Ф. А. Бредихин указывает, что орбита B лежит между орбитами A и C, а орбита D — между орбитами C и E. Статья заканчивается следующими словами:

«Очень интересно, что элементы C и E указывают почти на одну и ту же точку отделения этих масс от производящей кометы».

«Вероятно, это отделение было произведено чрезвычайно сильным притяжением Юпитера (Чендлер, Astr. Journ., № 205)»[2].

«Если бы мы хотели приписать его действию извержений кометы, то нашли бы для массы C толчок $j = +0.0014$, направленный к Солнцу вдоль радиуса-вектора, а для массы E толчок $j = -0.0147$, то-есть толчок, направленный от Солнца вдоль продолжения радиуса-вектора».

См. также статью «О некоторых случаях дробления комет».

[[88]] (Стр. 256). Позже Ф. А. Бредихин, повидимому, несколько изменил свою точку зрения на образование потока Биелид. И. С. Абельман сообщает в 1898 г.:

---

[1] Annales de l'Observatoire de Moscou, série 2, vol .II, livre 2, pp. 158—163; Astronomische Nachrichten, B. 123, 1890, pp. 321—324.

[2] См. также стр. 331.

«Несколько месяцев тому назад акад. Бредихин в личной беседе любезно высказал нам свое мнение, что в случае Биелид он склонен видеть и влияние разлагающего действия Солнца» [1].

[89] (Стр. 264). Комета 1860 I была открыта Лиэ 26 февраля 1860 г., через 10 дней после прохождения через перигелий; в отличие от кометы Биела, она представлялась двойной уже в момент открытия. Ее элементы, выведенные из непродолжительных наблюдений Лиэ, довольно ненадежны:

Комета	1860 I^a	1860 I^b
T	1860, февраля 16.6249	16.6697 ср. гринич. вр.
ω	209° 46′8″	209°41′50″
☊	324 3 40	324 3 19
i	79 39 57	79 36 12
lg q	0.07877	0.07852
Равноденствие	1860.0	1860.0

Вследствие сравнительно большого расстояния между компонентами, кажется сомнительным, чтобы эта комета разделилась около перигелия в 1860 г.; возможно, что она двигалась по эллиптической орбите и возвращалась к перигелию не в первый раз, но судить об этом нельзя из-за недостатка наблюдений.

[90] (Стр. 266). Вычисление больших полуосей орбит частиц, обладающих электрическим зарядом, может быть легко произведено по общим формулам, опубликованным Ф. А. Бредихиным в 1879 г. [2] Для вывода достаточно написать дифференциальные уравнения движения частицы вокруг Солнца под действием эффективного ускорения; величина этого ускорения на единице расстояния, выраженная в единицах ньютоновского притяжения, обозначена Бредихиным через μ.

Имеем:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \mu\frac{x}{r^3} = 0,$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \mu\frac{y}{r^3} = 0,$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} + \mu\frac{z}{r^3} = 0.$$

---

[1] И. С. Абельман. О движении некоторых метеорных потоков Известия Русского астрономического общества, 1898, вып. VII, № 1—3, стр. 97.

[2] Th. Bredichin. Remarques générales sur les comètes. Annales de l'Observatoire de Moscou, 1879, vol. V, livre 2, pp. 31—32.

В данном случае гауссова постоянная для ньютоновского притяжения $k^2 = 1$. Ее место в уравнениях занимает величина μ; поэтому в интеграле живой силы тоже появится эта величина:

$$H_1^2 = \mu\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{A}\right),$$

где H_1 — скорость частицы.

Это выражение дает:

$$A = \frac{r}{2 - \dfrac{H_1^2 r}{\mu}},$$

что можно сопоставить с формулами (4) и (5) в статье «Происхождение космических метеоров» (стр. 11); теперь вместо H_1^2 фигурирует $\frac{H_1^2}{\mu}$.

[91] (Стр. 269). Цитата в подлиннике приведена по-немецки.

[92] (Стр. 269). Опередивший свое время взгляд Ф. А. Бредихина на образование твердых частиц в комете,— частиц, составляющих некоторую долю общей массы ядра,— только в последние годы повторяется в представлении о кометном ядре, как конгломерате веществ с высокими и низкими температурами плавления. Но интересная космогоническая идея Бредихина о том, что переход частиц в твердое состояние происходил в самой комете, пока еще ожидает должной разработки.

[93] (Стр. 274). В подлиннике приведено по-английски.

[94] (Стр. 275). Это следует из того, что секториальная скорость остается постоянной.

[95] (Стр. 276). Дальнейшие цитаты из отчетов наблюдателей приводятся в подлиннике преимущественно по-английски и отчасти по-немецки.

[96] (Стр. 281). Формулы для получения координат точек оси хвоста из наблюдений изложены в магистерской диссертации Ф. А. Бредихина [1].

Отметим здесь только, что A и D — прямое восхождение и склонение полюса плоскости кометной орбиты, G, G', P, P' и S — вспомогательные углы, p° — позиционный угол радиуса-вектора кометы; u и u° — позиционные углы оси хвоста и радиуса-вектора кометы, отсчитанные в плоскости кометной орбиты; их разность есть φ — угол оси хвоста с радиусом-вектором.

[97] (Стр. 285). Цитата в подлиннике приведена по-английски.

[98] (Стр. 286). Для вычисления вековых возмущений кометы 1862 III и ее производных орбит Ф. А. Бредихин избрал способ Гаусса, наиболее подходящий для этой цели. Идея этого способа, приспособленного Хиллом

---

[1] Ф. А. Бредихин. О хвостах комет. 2 изд., 1934, стр. 80—89. См. также С. В. Орлов, Кометы, гл. II, 1935.

для практических вычислений, указывается латинским названием мемуара Гаусса 1818 г.:

«Определение притяжения, которое произвела бы планета в точке с любым заданным положением, если бы ее масса была равномерно распределена по всей орбите пропорционально времени, в которое описываются отдельные части» [1].

Способ Гаусса можно с успехом использовать для вычисления вековых возмущений какой-либо планеты, если ограничиться первым порядком в отношении возмущающих масс; он не труден, очень точен и может применяться при больших эксцентриситетах. Вековые возмущения не зависят от взаимного расположения небесных тел, а только от формы и положения их орбит. Поэтому вековые изменения этих орбит будут те же, что и изменения материальных колец под действием их взаимного тяготения. Движение тел отразится только в том, что нельзя будет считать кольца однородными, так как действие тех частей кольца, где планета пребывает дольше, будет сильнее. Мерой времени, в течение которого небесное тело проходит известный отрезок своей орбиты, является площадь сектора, описанная радиусом-вектором, поэтому масса элемента кольца должна быть принята пропорциональной площади соответствующего элементарного сектора.

На практике берутся уравнения для производных элементов орбиты по времени [2]; в правых частях уравнений стоят функции от этих элементов и координат возмущаемого тела, умноженные на компоненты возмущающего ускорения. Время входит сюда через средние аномалии обоих тел; для получения вековых возмущений должно быть выполнено двукратное осреднение по этим аргументам, но Гаусс и Хилл заменяют среднюю аномалию эксцентрической. Осреднение компонент возмущающего ускорения по эксцентрической аномалии возмущающей планеты выполняется с помощью эллиптических функций; второе осреднение самих производных от элементов по эксцентрической аномалии возмущающего тела производится численно, деля окружность на равные части. Контролем вычислений на этом этапе служит равенство сумм вычисленных величин, относящихся к четным, соответственно к нечетным, номерам точек, делящих окружность.

Принципиальная сторона способа Гаусса изложена М. Ф. Субботиным [3]; для полного ознакомления с его практической стороной и со

---

[1] C. F. Gauss. Werke, B. III, 1866, p. 331.

[2] Они использованы, в частности, Ф. А. Бредихиным в его работе «О рассеянии радиантов».

[3] М. Ф. Субботин. Курс небесной механики, т 2, 1937 стр. 277—280.

всеми входящими в вычисления величинами следует обратиться к обстоятельному мемуару Хилла, указанному в тексте.

По рекомендации Ф. А. Бредихина И. С. Абельман вычислил по способу Хилла возмущения других метеорных потоков. При этом он внес некоторые улучшения в формулы Хилла[1].

[99] (Стр. 295). Прямое движение узла возмущенной орбиты имеет место при наклонении более 90°, то-есть в случае обратного движения.

[100] (Стр. 302). Исследования Ф. А. Бредихина о возмущениях потока Персеид (см. также статью «О рассеянии радиантов») показывают, что для объяснения продолжительной ежегодной видимости метеоров планетными возмущениями потребовалось бы допустить, что возраст потока исчисляется по меньшей мере сотнями тысяч лет,— предположение хотя и не абсурдное, но не очень вероятное. Возможно, что известную роль в расширении потока играет световое давление Солнца (см. примеч. 11). При громадных размерах потока в поперечном сечении масса его, как указывает Гофмейстер[2], все-таки не должна быть чрезмерной; грубые подсчеты приводят к общей массе Персеид порядка 10^{16} г, что составляет лишь небольшую долю возможной оценки массы кометы.

[101] (Стр. 316). Корень из параметра орбиты входит в знаменатель выражений для компонент возмущающего ускорения. См. формулы (6) и (8) на стр. 216.

[102] (Стр. 318). В настоящее время афелий Марса находится далеко от указанной точки — его долгота 153°.

[103] (Стр. 320). Это замечание относится к короткопериодическим кометам; для комет с длинными периодами величина α может быть значительно меньше.

[104] (Стр. 323). Угол γ есть удвоенное зенитное притяжение для радианта на горизонте; таково максимальное отклонение метеора от прямолинейного пути притяжением Земли, если метеор, говоря математически, касается в своем полете поверхности Земли. Понятно, что из-за сопротивления воздуха этого не может случиться; огибать Землю и улетать дальше могут только метеоры, проходящие на такой высоте, что сопротивление воздуха мало заметно (впрочем, эта высота довольно мала по сравнению с радиусом Земли), поэтому надо было бы немного уменьшить

---

[1] И. С. Абельман. О движении некоторых метеорных потоков. Известия Русского астрономического общества, 1898, вып. VII, № 1—3, стр. 35—102.

[2] Newcomb-Engelmann. Populäre Astronomie, 8 Aufl., 1948, p. 471.

величину γ. Обратимся к выражению для зенитного притяжения в примеч. 84:

$$\operatorname{tg}\frac{1}{2}\psi = \frac{w-u}{w+u}\operatorname{tg}\frac{1}{2}z,$$

где

$$w^2 = u^2 + 2g\rho.$$

Для параболической орбиты потока и круговой орбиты Земли (см. стр. 250):

$$V = k, \quad v = k\sqrt{2}.$$

Из рис. 2 имеем:

$$v^2 = u^2 + V^2 - 2uv\cos\varepsilon,$$

$$u^2 - 2k\cos\varepsilon\cdot u - k^2 = 0;$$

следовательно,

$$u = K\left(\cos\varepsilon + \sqrt{1+\cos^2\varepsilon}\right).$$

Далее, очевидно, можно написать для $z = 90°$:

$$\operatorname{tg}\frac{1}{4}\gamma = \operatorname{tg}\frac{1}{2}\psi_0 = \frac{\sqrt{1+\frac{2gR}{u^2}}-1}{\sqrt{1+\frac{2gR}{u^2}}+1};$$

таким образом, угол γ может быть выражен только через ε и постоянные величины.

[105] (Стр. 324). И. С. Абельману это утверждение представляется сомнительным на основании его вычислений, и он склонен считать, что «если и были толчки, то в незначительной степени, и они лишь усугубили постепенное разложение кометы путем солнечного притяжения»[1].

[105] (Стр. 326). Параболы и рассматриваемые здесь эллипсы имеют радиус-вектор, равный радиусу орбиты Юпитера ($a = 5.2$), в двух симметричных относительно афелия точках; легко видеть, что в этих точках

$$180° + v + \omega = \alpha \pm \beta.$$

Расстояния Δ вычислены по формулам, данным в статье «Об участии Юпитера в образовании сложных радиантов», стр. 373; для вторых пересечений орбит они даны в четных строках таблички. Строго говоря, найденные расстояния не будут минимальными, но погрешность для небольшого (в данном случае) наклонения будет мала. Для общей задачи

[1] И. С. Абельман. О движении некоторых метеорных потоков. Известия Русского астрономического общества, 1898, вып. VII, № 1—3, стр. 75.

о минимальном расстоянии между двумя любыми орбитами (коническими сечениями с фокусами в Солнце) нет простого решения [1].

[107] (Стр. 329). Инвариант J относится к неоднократно упомянутому критерию Тиссерана, примененному к Сатурну. Рассматриваемые здесь метеорные орбиты в своих афелиях немного не достигают орбиты Сатурна и не попадают в его сферу действия; тем не менее возмущения от Сатурна должны быть довольно сильны, так что использование критерия Тиссерана действительно может показать характер изменения элементов орбит метеоров за длительное время.

[108] (Стр. 331). Цитата в подлиннике приведена по-английски.

[109] (Стр. 335). Шульгоф в своей обзорной статье о метеорах дает довольно обстоятельное изложение теории Ф. А. Бредихина; именно оттуда взята приведенная в тексте (с незначительными изменениями) фраза [2].

[110] (Стр. 335). В исследовании Пикара о распаде метеорных роев [3] рассматривается преимущественно распад под действием внешних гравитационных сил (например, Солнца). В указанном месте его мемуара изучается движение частиц роя, описывавшего около Солнца параболическую орбиту, если распад роя произошел близ перигелия. Предполагая, что после этого прекратилось гравитационное взаимодействие между роем и отделившейся от него частицей (или частицами), Пикар получает тот, в сущности элементарный, результат, что отделившиеся от роя частицы будут удаляться друг от друга и их орбиты будут очень различны.

[111] (Стр. 337). См. статью «Происхождение космических метеоров», стр. 52—57; цитата из каталога Деннинга приведена далее по-английски.

[112] (Стр. 339). Следующая ниже критика Ф. А. Бредихина теорий, выдвинутых в поддержку существования неподвижных радиантов, по неотразимой силе аргументации и поистине убийственному сарказму принадлежит к самым блестящим образцам полемики во всемирной научной литературе. Она произвела в свое время глубокое впечатление (см. примеч. 126) и окончательно разрушила мнение, что неподвижный радиант может относиться к единой метеорной системе (понимая этот термин в смысле Бредихина).

[113] (Стр. 341). Цитата в подлиннике дана по-английски.

[114] (Стр. 344). Цитата в подлиннике приведена по-английски, слова «истинная причина» — по-латыни: vera causa.

---

[1] А. Д. Дубяго. Определение орбит. 1949, стр. 354—361.

[2] Bulletin Astronomique, 1894, т. XI, p. 424.

[3] Annales de l'Observatoire de Bordeaux, 1894, vol. V. p. 1—72.

[115] (Стр. 347). Методика вычисления возмущений здесь та же самая, что и в статье «О рассеянии радиантов», если не считать следующего незначительного изменения: вместо выражения

$$Z = -NKr' \sin B',$$

вытекающего из формул (3) и (8) на стр. 216, берется

$$Z = -NKr' \sin T \sin i,$$

после очевидной подстановки

$$\sin B' = \sin T \sin i.$$

[116] (Стр. 350). Числа K выражаются миллионами и миллиардами.

[117] (Стр. 356). Изменение радиуса-вектора Земли при изменении истинной аномалии на 1° выражается в течение года различными величинами от почти нуля до 0.00030; приведенное в тексте изменение 0.00007 (не будучи минимальным) относится к дням летнего и зимнего солнцестояний. Для всей аргументации Бредихина это не имеет ни малейшего значения: если речь идет о неподвижных радиантах, то достаточно узлу метеора удалиться от перигелия или афелия земной орбиты на 13°(13 дней), и изменение радиуса-вектора Земли достигнет указанной величины, а затем и превзойдет ее.

[118] (Стр. 357). Выведенное выше перемещение радианта по долготе не скажется на его положении на небе только в том случае, если он находится в северном или южном полюсе эклиптики; только такой радиант может оставаться неподвижным.

[119] (Стр. 362). См. стр. 338, 345, 358.

[120] (Стр. 364). См. стр. 344.

[121] (Стр. 364). В подлиннике цитаты из статьи Тернера приведены в дальнейшем по-английски.

[122] (Стр. 367). См. стр. 355.

[123] (Стр. 367). Это равенство представляет собой основную формулу для косинуса стороны треугольника, построенного на сфере с центром в c, если учесть, что углы Rcl и Qcl равны.

[124] (Стр. 368). См. стр. 354.

[125] (Стр. 369). В подлиннике по-латыни: sui generis.

[126] (Стр. 369). Почти через два года после того, как появилась эта дополнительная заметка Ф. А. Бредихина, в которой просто и наглядно показана чудовищная нелепость выдвинутого Тернером объяснения существования неподвижных радиантов, Тернер опубликовал третью статью о неподвижных радиантах, тупо упорствуя на своей точке зрения и пытаясь отделаться от критики Бредихина одной жалкой бессодержа-

тельной фразой [1]. Эта статья не заслужила ответа со стороны Ф. А. Бредихина.

Вот что сообщает С. К. Костинский в своем некрологе Ф. А. Бредихина, написанном в 1904 г.:

«В самое недавнее время на собрании Британского общества в Southport'е, в 1903 г., один ученый — Charles Vernon Boys — выразился так: «невозможно прочесть хотя бы одну десятую долю бредихинских исследований, чтобы не почувствовать, насколько он, при помощи своего удивительного прилежания, овладел областью вопроса о кометах и их хвостах: всякий посторонний, сделавший здесь мимоходом случайный выстрел, был бы должен подвергнуться строжайшему наказанию, как браконьер. Бредихин безжалостно — я не говорю несправедливо — уничтожил автора по крайней мере *одной* такой, сделанной наудачу теории»» [2].

Достойно внимания, что это замечание, касающееся в заключительной части Тернера, было высказано на большом собрании ученых разных специальностей, притом высказано не астрономом, а физиком Бойсом. Оно прекрасно характеризует, какое впечатление производили работы Ф. А. Бредихина и как они были широко известны.

[127] (Стр. 372). Классификация метеорных орбит на внутренние и внешние вытекает из приведенных выше простых условий для встречи этих орбит с орбитами Земли и Юпитера. Если обозначить радиус-вектор орбиты метеоров в узле через r (в другом узле $r = 1$), то вместо уравнений (1) и (2) будет вообще

$$1 + e \cos v_0 = q\,(1 + e),$$

$$r - re \cos v_0 = q\,(1 + e),$$

откуда

$$e \cos v_0 = \frac{r - 1}{r + 1},$$

$$q\,(1 + e) = \frac{2r}{r + 1}.$$

Предполагая, что орбита не является гиперболой ($e \leqslant 1$), получаем:

$$q \geqslant \frac{r}{r + 1}.$$

---

[1] Monthly Notices of the R. A. S., 1902, vol. 62, p. 448.

[2] С. К. Костинский. Федор Александрович Бредихин. Русский астрономический календарь на 1905 год, Нижний-Новгород, 1904, стр. 18.

Если это условие не соблюдается, оба узла лежат ближе к Солнцу, чем r; следовательно, круг радиуса r будет лежать целиком над или под орбитой метеоров; если же

$$q(1+e) > \frac{2r}{r+1},$$

то второй узел лежит за этим кругом, который, таким образом, проходит внутрь орбиты.

[128] (Стр. 373). Приведенный способ служит для нахождения расстояния метеора от орбиты Юпитера в тот момент, когда радиус-вектор метеора равен радиусу орбиты Юпитера. Как уже упомянуто в примеч. 106, общая задача о нахождении минимальных расстояний между двумя гелиоцентрическими орбитами достаточно сложна. Полученное решение дает удовлетворительный результат, если афелий и узел метеорной орбиты находятся далеко от орбиты Юпитера.

Нужно обратить внимание, что будет два вычисленных таким способом минимальных расстояния, потому что радиус-вектор метеорной орбиты дважды принимает указанное значение.

[129] (Стр. 375). В статье «Происхождение космических метеоров» (стр. 11) величины g, G и b были соответственно обозначены j, J и β.

[130] (Стр. 376). Из уравнения (1)

$$1 + e\cos v_0 = q(1+e)$$

получаем:

$$\cos v_0 = q - \frac{1-q}{e},$$

откуда следует, что $\cos v_0' < \cos v_0$.

[131] (Стр. 377). Эти данные для орбит 42 радиантов содержатся на стр. 191—215 статьи «О сложных (так называемых неподвижных радиантах) падающих звезд», на которую Ф. А. Бредихин ссылается в подстрочном примечании; они дополнены ниже расстояниями Δ и указаниями на внешнее или внутреннее положение орбит. Естественно, что, подготовляя статьи для помещения в книге, Ф. А. Бредихин исключил все это место, как параллельное, из упомянутой статьи о сложных радиантах (радиант 36 остался, см. стр. 358—360), так как оно имеется в настоящей статье «Об участии Юпитера в образовании сложных радиантов». Заметим еще, что в этой последней статье немного выше был приведен разбор системы Орионид[1]; в книге он опущен, так как имеется уже в статье «О некоторых метеорных системах» (стр. 325—327).

[132] (стр. 381). См. стр. 326—327.

---

[1] Известия Академии Наук, 1902, март, т. XVI, № 3, стр. 59—61.

[133] (Стр. 389). В тексте потоки группируются иначе, чем в таблице: номера 1—7 — один поток, номера 8—10 — другой поток. Так как числа, приведенные в тексте, тем не менее соответствуют, в общем, той группировке, что в таблице, то для согласования в текст было внесено несколько исправлений.

[134] (Стр. 390). В этой фразе первая часть как будто противоречит второй части, но первое утверждение надо понимать как чисто формальное, которое далее опровергается.

Критерий Клаузена предъявляет более строгое требование, чем поставленные в начале этой статьи условия; он заключается в том, что две орбиты должны, для отождествления, пересекаться между собой по соседству с орбитой Юпитера (все три орбиты пересекаются в одной точке). Однако по существу он менее надежен, чем критерий Тиссерана, так как по необходимости рассматривается пересечение оскулирующих орбит, в то время как в действительности, если какое-либо тело сближается с Юпитером, орбита видоизменяется возмущениями еще до того, как тело дойдет до точки с минимальным расстоянием от планеты.

[135] (Стр. 397). Перигельные расстояния для потоков № 894 и 899, если их взять с несколько большим числом знаков, пользуясь вычисленными И. А. Клейбером значениями $\lg q$, получатся соответственно 0.00015 и 0.00314, что слишком мало, меньше радиуса Солнца. Положенные в основу радианты Деннинга были, очевидно, в данном случае недостаточно надежны.

[136] (Стр. 414). В первой главе своего мемуара Калландро установил, что если комета вступила в сферу действия Юпитера, имея то же направление движения, что и планета, то ее орбита преобразуется в эллипс с прямым движением; орбита кометы, вступившей в сферу навстречу движению Юпитера, может при известном условии преобразоваться в гиперболу с прямым движением; орбиты комет, входящих в сферу действия по направлению к Солнцу или от Солнца, превращаются в эллипсы с обратным движением или в гиперболы с прямым движением.

[137] (Стр. 414). Ф. А. Бредихин пишет по-латыни: lusus naturae.

[138] (Стр. 420). Этот вывод заслуживает особого внимания: он выражает в окончательной форме взгляды Ф. А. Бредихина на образование метеоров из комет. Будучи получен в итоге глубоких и разнообразных исследований, он остается в полной силе до наших дней, находя новое подтверждение во все расширяющихся сведениях о природе комет и метеоров. Добавим, что влияние планетных возмущений на метеорные потоки сказывается не только внутри сфер действия планет, но и на больших расстояниях от них.

[139] (Стр. 421). См. стр. 358, 377.

[140] (Стр. 425). См. стр. 218—219.

[141] (Стр. 427). Мы переводим французское tranche русским словом «ломтик». В своей посмертной работе «Кажущееся смещение максимума в потоке Персеид», теперь впервые публикуемой, Ф. А. Бредихин уже в русском автографе написал это слово по-французски. Оно имеет в данном случае следующий смысл: если пучок метеорных орбит пересекает какую-либо линию, например: орбиту Земли, орбиту Юпитера или его радиус-вектор, тогда орбиты метеоров, пересекающие эту линию, составляют во всем пучке некоторое его сечение, строго говоря, не имеющее толщины, или ломтик малой толщины, если не требовать особой строгости. Последняя оговорка вполне уместна, если речь идет о таких явлениях, как падение метеоров на ту или иную планету или прохождение их через сферу действия. Ясно, например, что планета, двигаясь по своей орбите, вырезает в пространстве трубку, имеющую тот же диаметр, что и она сама, поэтому орбиты метеоров, пересекающие эту трубку, представят собой на некотором протяжении именно нечто вроде ломтика.

[142] (Стр. 427). Приведенные здесь, а также немного выше для центральной части потока, периоды обращения Персеид между 8 и 12 годами, возможно, взяты в согласии с предположением Шмидта, что, наряду с периодом в 108 лет для максимума Персеид, может существовать вторичный период около 12 лет, связанный с возмущениями со стороны Юпитера. Напомним, что в статье «О рассеянии радиантов» вычисляются возмущения для метеоров потока Персеид, проходящих через сферу действия Юпитера, однако периоды этих метеоров близки к 6 годам (см. стр. 214, где даны большие полуоси для этих метеоров).

Гораздо позже, в 1923 г., Деннинг также получил 11.72 года для периода максимально обильных появлений Персеид. Вопрос о периодичности максимумов Персеид заслуживает подробного изучения.

[143] (Стр. 428). Фигура площади радиации зависит от характера планетных возмущений орбит потока. Если наиболее сильным возмущениям подвергается наклонение, фигура будет вытянута перпендикулярно к плоскости орбиты; если сильнее возмущаются перигельное расстояние и аргумент перигелия, фигура будет вытянута параллельно плоскости орбиты.

КОММЕНТАРИЙ К РАБОТЕ «КАЖУЩЕЕСЯ СМЕЩЕНИЕ МАКСИМУМА В ПОТОКЕ ПЕРСЕИД»

Над исследованием потока Персеид с разных точек зрения Ф. А. Бредихин работал на протяжении многих лет, посвятив этому предмету ряд статей, вошедших в книгу о происхождении метеоров: о Персеидах, наблюдавшихся в России, о рассеянии радиантов, о вековых возмущениях кометы 1862 III и ее производных орбит. Книга эта заканчивается статьей «Об участии Юпитера в образовании радиантов простых», и на последних страницах автор пользуется случаем, чтобы снова высказать несколько замечаний о потоке Персеид (стр. 424). Вопрос продолжал интересовать Ф. А. Бредихина и после выхода его книги в свет в 1903 г., и в конце этого года он готовил для доклада в Академии Наук новую работу, которую он озаглавил «Déplacement apparent du maximum dans le courant des Perséides». Под этим заголовком он поместил надпись: Présenté le (   ) décembre 1903 [1].

Однако работа не была доложена, и сама рукопись осталась в не совсем законченном черновом виде. Повидимому, задержка возникла из-за желания Ф. А. Бредихина получить результаты наблюдений Персеид в 1903 г., чтобы проверить по ним свои выводы. Необходимые данные действительно были им получены и выписаны на последней странице рукописи — очевидно, совсем незадолго до смерти, последовавшей 1 (14) мая 1904 г., ибо цитируемый Ф. А. Бредихиным номер «Monthly Notices», содержащий отчет о наблюдениях метеоров в 1903 г., вышел в свет не ранее марта — апреля 1904 г. В конце рукописи имеются карандашные пометки, касающиеся некоторых дополнительных соображений, которыми Ф. А. Бредихин, повидимому, собирался закончить статью.

---

[1] Представлено (   ) декабря 1903 г.

Начав писать ее более или менее начисто, Ф. А. Бредихин продолжал с меньшей тщательностью, часто допуская сокращение слов и не исправляя описок. Это создало большие трудности при чтении рукописи, тем не менее ее удалось разобрать полностью.

Работа Ф. А. Бредихина «Кажущееся смещение максимума в потоке Персеид» представляет собой прямое продолжение предыдущих его исследований, вошедших в «Этюды о происхождении космических метеоров и образовании их потоков». Даже в черновом виде эта статья имеет законченное содержание. Она публикуется здесь впервые по авторской рукописи, хранящейся в Архиве Академии Наук СССР [1]. В печатаемом тексте выражения, подчеркнутые автором, набраны курсивом; сокращенные слова по большей части приведены полностью; английские цитаты из наблюдений Персеид и отдельные французские слова и группы слов, введенные Ф. А. Бредихиным прямо в русский текст для будущего перевода статьи на французский язык, даны в русском переводе; но французские слова, служащие переводом имеющихся в тексте русских слов, опущены; указания на литературу приведены в подлиннике (ссылка на «Известия Академии Наук» — по-русски); проставлены в скобках намеченные, но не заполненные автором указания на страницы цитируемых сочинений; в согласии с пометками Ф. А. Бредихина сделана перестановка одного абзаца; в другом месте выключено повторение текста; вставлено в скобках небольшое число пропущенных слов; опущены в тексте и даются в примечаниях позднейшие черновые пометки и записи, не входящие в основной текст.

Ниже следуют примечания к отдельным местам статьи.

[144] (Стр. 431). Это утверждение очень близко к истине, но, строго говоря, не совершенно точно. Для полного суждения о максимуме метеорного потока необходимо найти кратчайшее расстояние между орбитой кометы и орбитой Земли. Для метеорной орбиты, мало наклоненной к эклиптике, это кратчайшее расстояние может оказаться далеко от линии узлов, и метеорный поток будет всего сильнее не в узле, даже если пучок истечений помещался симметрично относительно плоскости орбиты кометы.

Нет надобности останавливаться здесь на этом, уже отмеченном в примеч. 106, обстоятельстве, так как орбита Персеид имеет большое наклонение к эклиптике, а для подобных орбит кратчайшее расстояние, как не трудно сообразить, будет почти в узле.

[145] (Стр. 431). Слово пропущено; конечно, можно поставить также: отрезок, интервал, период и т. п.

---

[1] Архив АН СССР, фонд 705, оп. 1, № 1, лл. 1—17.

[146] (Стр. 432). Наблюдения Персеид производил А. Я. Орлов, впоследствии действительный член Академии Наук УССР и член-корреспондент Академии Наук СССР.

[147] (Стр. 433). Данные, относящиеся к этим радиантам, остались не вписанными.

[148] (Стр. 435). Фраза в скобках добавлена самим Ф. А. Бредихиным по-русски. Средний момент будет не $10^{h}.8$, а $11^{h}.0$, так как приведенные моменты выражены в часах и минутах.

[149] (Стр. 435). Две предшествующие фразы заключены Ф. А. Бредихиным между особыми знаками ($\mp$); повидимому, он имел в виду их исключить (или перенести в другое место), так как в конце статьи заключенная в них мысль развивается более подробно.

[150] (Стр. 437). После знака ⊙ и $140^{\circ}.2$ поставлены красным карандашом вопросительные знаки. Ф. А. Бредихин хотел проверить американские моменты наблюдений и соответственные долготы Солнца. Ошибка в последних величинах может быть очень мала, и для выводов о смещении потока она не имеет значения.

[151] (Стр. 437). Максимум потока Персеид и в последующие годы сохранил это смещение; так, в 1936 г. он соответствовал долготе Солнца $139^{\circ}.5$, что падает на 12 августа.

[152] (Стр. 437). См. стр. 11.

[153] (Стр. 438). В различных местах рукописи фигурируют в одном и том же смысле g и G, j и J. Эта непоследовательность, конечно, была бы устранена Бредихиным при подготовке текста к печати (в одном месте он даже начал исправлять g на j). Мы решились оставить эти обозначения так, как они написаны, потому что в некоторых статьях «Этюдов» также стоят g и G вместо обычных j и J; повести же к сомнению это в данном случае не может.

[154] (Стр. 438). Величина $\frac{1}{a}$ приведена здесь не для кометной орбиты, а для орбиты, имеющей период обращения в 39 лет.

[155] (Стр. 439). Формулы, служащие для этих вычислений, приведены на стр. 27.

[156] (Стр. 440). См. статью «О рассеянии радиантов».

[157] (Стр. 440). См. стр. 219.

[158] (Стр. 441). См. стр. 426.

[159] (Стр. 441). Эта фраза взята из «Этюдов», стр. 426.

[160] (Стр. 441). Здесь заканчивается текст статьи. После этого красным карандашом на той же странице крупно написано:

«Тут можно поместить соображения об увеличении $1-\mu$ выше 18, хоть до 30. Углами и точками определяется. Фот. [фотография?] даже преимущественно последний способ. Самое точное, когда точка проходит

перигелий гиперболы — время прохождения чрез него очень чувствительно к величинам μ».

В статье «О больших значениях отталкивательной силы Солнца» [1], представленной в Академию Наук 25 февраля 1904 г. и написанной, вероятно, лишь немного позже, чем основной текст настоящей работы, Ф. А. Бредихин указывает, что максимальная величина отталкивательной силы Солнца, выведенная из визуальных наблюдений, есть $1 - \mu = 18$ (выражается в единицах силы ньютонианского притяжения Солнца). Однако фотографические наблюдения кометы 1893 II привели к отталкивательной силе, равной 36, а для кометы 1903 IV Ф. А. Бредихин уже ведет вычисления для значений $1 - \mu = 67, 72, 77$, находя, что значения $1 - \mu < 60$ недостаточны. Сравнение вычисленных им гиперболических орбит показывает (стр. 44), что изменение $1 - \mu$ наиболее сказывается на времени прохождения частиц через перигелий в описываемой ими гиперболе (обозначается $M\pi$).

Позднейшие исследования лучевых систем в хвостах первого типа привели к еще гораздо большим отталкивательным силам, порядка 1000 (тип I_0 по С. В. Орлову [2]).

К этому можно добавить, что углы, упоминаемые здесь,— позиционные углы, которые обычно измерялись при визуальных наблюдениях кометных хвостов; на фотографиях же часто удобнее измерять положения относительно ядра тех или иных точек, связанных с образованиями, движущимися в хвосте кометы.

Можно только догадываться, какое отношение эти пометки должны были иметь к содержанию статьи о смещении максимума Персеид. Дело в том, что начальные скорости j метеоров, увлекаемых истечениями из ядра, должны быть значительно меньше скоростей самих истечений g из-за сравнительно большой массы метеоров. На это обстоятельство Ф. А. Бредихин указывал в начале своих исследований над метеорами (см. стр. 11). Поэтому для объяснения вытекающих из его теории довольно больших величин j для ряда метеорных потоков, в том числе и для Персеид, можно было бы привлечь только что обнаруженные им крупные отталкивательные силы, которые, вероятно, должны быть связаны с большими скоростями g. Ф. А. Бредихин не успел сделать определения g для кометы 1903 II; в цитированной работе он в первом приближении полагает просто $g = 0$. Предложенное нами толкование есть, конечно, только одно из возможных.

Следующий и последний (17-й) лист рукописи содержит такие записи:

[1] Th. Bredikhine. Sur les grandes valeurs de la force répulsive du Soleil. Известия Академии Наук, 1904, январь, т. XX, № 1, стр. 39—48.

[2] С. В. Орлов. Природа комет. 1944, стр. 151.

Получены данные для 1903 г. (Monthly Notices, vol. LXIV, № 4, p. 350). Деннинг пишет: «Луна мешала несколько наблюдениям. Полнолуние августа 7, 20^h (по Грин.). Максимум, повидимому, случился 12 августа. Р. М. Доль наблюдал поток в Джемайка Плэн, Массачусетс, и нашел, что он менее обилен, чем в 1902. 12 августа с 11^h20^m до 15^h44^m (местного времени) он насчитал 111 метеоров и думает, что среднее число около 29 в час».

Средина 12, $11.^h3$

$= 12^d, 13^h.5$ местного времени — $4^h.8$. Гр.= $8^h.7$,

12 15.8 т. [е.] августа 12 $8^h.7$.

Для этого времени долгота ☉ = $138^\circ.9$

[цветным карандашом] Проверить американские времена и долготы ☉.

Для 1903 г. долготы ☉ для средней полуночи Гринича суть

авг. 10	136°	40′	Массачусетс от Гринича .	72°	$= 4^h.8$	Среднее $5^h.4$
11	137	38	Мэн	68	= 4.5	
12	138	35	Вирджиния	78	= 5.2	
13	139	33	Me. (Мексик.)	108	= 7.2	

по Nautical Almanac.

Обращение градусов в часы, их среднее (справа), а также приписка «(Мексик.)» сделаны карандашом.

Эти записи не требуют особых пояснений. Ф. А. Бредихин их, очевидно, не использовал; как мы уже указывали, отчет о наблюдениях Персеид в 1903 г. мог быть получен им лишь незадолго до смерти. Сокращение «Me» обозначает тот же штат Мэн, а не Мексику; осуществить свое намерение проверить времена и долготы Ф. А. Бредихин, повидимому, не успел.



КОММЕНТАРИЙ К СТАТЬЕ «ПАДАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ»

На годичном акте Московского университета, состоявшемся 12 января 1871 г., Ф. А. Бредихин прочел речь, избрав для нее темой вопрос о падающих звездах. Она появилась в том же году в виде отдельной статьи под названием «Падающие звезды» в «Московских университетских известиях» и (с незначительными редакционными изменениями) в журнале «Русский вестник»[1]. В этот период своей жизни Ф. А. Бредихин много занимался популяризацией астрономии, выступая с публичными лекциями и статьями в журналах. Выбор темы о падающих звездах, очевидно, был для него не случаен: незадолго до того была установлена тесная связь между метеорами и кометами, а исследованиями над кометами Ф. А. Бредихин занимался с любовью с самого начала своей научной деятельности.

Статья начинается ярким и живым описанием явлений, представляемых падающими звездами. После этого Ф. А. Бредихин говорит о химическом составе метеоритов, не упуская случая подчеркнуть единство материи во вселенной:

«Составные части этих пришлых из неведомых пространств тел существуют и на Земле, и элементы их встречаются даже в тех же сочетаниях, в которых мы их находим в коре нашей планеты» (стр. 447).

Далее он рассматривает физический процесс свечения метеоров во время их полета в воздухе, что дает повод перейти к массам этих тел и подчеркнуть различие масс, существующее между мелкими падающими звездами и крупными метеоритами, как Палласово железо.

---

[1] Московские университетские известия, 1871, № 1, неоффиц. отд., стр. 1—25; Русский вестник, 1871, т. 91, стр. 149—170. Почти вся статья перепечатана в «Публичных лекциях астрономии». Природа 1873, кн. 1 и 2.

Описывая орбитальное движение метеорных роев вокруг Солнца, Ф. А. Бредихин с большим умением объясняет столь трудную для популярного изложения вещь, как элементы орбит. Только преодолев эту трудность, он ясно и точно излагает открытые Скиапарелли и другими астрономами факты несомненной связи метеорных потоков с кометами.

В конце лекции Ф. А. Бредихин особо отмечает взаимную связь небесных явлений:

«Из всего изложенного мы видим, как в последние годы науке удалось найти связь между явлениями, повидимому, самыми разнородными: падающие звезды, аэролиты,— находимые по временам на Земле,— кометы и загадочные туманные пятна оказываются одного происхождения» (стр. 467).

Статья «Падающие звезды» является хорошим очерком сведений о метеорах, полученных наукой до того времени, как сам Ф. А. Бредихин начал заниматься этим предметом. Статья печатается по тексту «Московских университетских известий». Некоторые отдельные примечания приводятся ниже.

[161] (Стр. 446). Географическая миля равна 7.4 км; следовательно, высота в 60 географич. миль соответствует 450 км. На такой высоте плотность воздуха слишком мала, чтобы вызвать свечение метеоров, и указанную величину следует признать преувеличенной. То же самое относится к скорости 160 верст в секунду. Приведенные числа были получены из недостаточно надежных визуальных наблюдений над падающими звездами. Особенно плохи были результаты для болидов. Явления болидов обращают на себя всеобщее внимание, и материалом для вычисления их путей в атмосфере, как правило, служили наблюдения случайных и совершенно неопытных зрителей.

[162] (Стр. 447). Первые исследования Скиапарелли о связи между кометами и метеорами были изложены им в четырех письмах к Секки, который их опубликовал в 1866—1867 гг. Рассматривая изменения часовых чисел наблюдаемых метеоров, Скиапарелли (как и Ньютон до него) заключил, что для их объяснения необходимо допустить скорость метеоров, близкую к параболической. Удостоверившись, что эксцентриситет метеорных орбит должен быть, таким образом, очень значителен, Скиапарелли пришел к выводу, что эти частицы приходят к нам, как и кометы, из отдаленных пространств и не принадлежат к солнечной системе. Еще Лаплас в свое время придерживался такого же взгляда в отношении комет, имея в виду разнообразие их эксцентриситетов и наклонений и исходя из своей знаменитой космогонической концепции, требовавшей прямого движения и малых наклонений для тел солнечной системы. С этой точки зрения периодические рои метеоров, как и периодические кометы,

объясняются тем, что их орбиты подверглись возмущениям от планет (Юпитера в первую очередь). Хотя эти взгляды теперь оставлены, как в отношении комет, для которых полный учет планетных возмущений неизменно приводил к эллиптическим орбитам для момента вступления в солнечную систему, так и для метеоров, скорости которых по фотографическим, радиолокационным и тщательно обработанным визуальным наблюдениям не превосходят параболической скорости, но именно они привели вслед за тем Скиапарелли к установлению факта, что метеорные потоки и кометы могут двигаться по одинаковым орбитам, о чем Ф. А. Бредихин подробно рассказывает ниже.

[163] (Стр. 447). Этот перечень уже содержит все важнейшие химические элементы. По современным данным, в метеоритах (в среднем для железных и каменных метеоритов) наиболее обильны: кислород, железо, кремний, магний, сера, никель, алюминий (у Бредихина: глиний), кальций и натрий. Громадное большинство остальных химических элементов также обнаружено в метеоритах, а из соединений отметим воду, найденную Л. Г. Кваша в составе минерала хлорита в метеорите Старое Борискино.

[164] (Стр. 448). При полете метеора в земной атмосфере его кинетическая энергия постепенно превращается в кинетическую энергию ударяемых им молекул воздуха и молекул его собственной поверхности. Перед метеором образуется оболочка сжатых, раскаленных и светящихся газов, размером гораздо больше самого метеора. Поверхность метеора также раскаляется, плавится и испаряется. С проникновением метеора в более низкие и плотные слои воздуха скорость понижается настолько, что дальнейший полет представляет простое падение на Землю под действием тяжести. Мелкие метеоры, однако, еще до этого испаряются почти целиком.

[165] (Стр. 449). 1 лот равен приблизительно 13 г, то-есть масса среднего метеора, видимого простому глазу, составит около десятой доли грамма. Более точные оценки, основанные на современной физической теории метеоров, дают еще меньшие массы.

[166] (Стр. 450). Метеорит, известный под названием Палласова железа, сыграл важную роль в истории метеорной астрономии. Этот метеорит был найден в 1749 г. на возвышенности около Енисея кузнецом Яковом Медведевым и в 1774 г. по поручению путешествовавшего по Сибири академика П. С Палласа доставлен в кунсткамеру Академии Наук в Петербурге.

На основании исследования Палласова железа чешский ученый Э. Ф. Хладны пришел к убеждению, что эта и ей подобные метеорные массы, несомненно, космического происхождения, а падение метеоритов связано с явлением болидов. Свои выводы Хладны опубликовал в зна-

менитой книге, изданной в 1794 г. в Риге [1]. Он не был понят на Западе, и только в 1803 г., после выпадения каменного дождя в Легле во Франции, европейские ученые дошли до признания отрицавшейся ими возможности падения небесных камней. Тот же Хладны впоследствии высказал мысль о связи между падающими звездами и кометами.

Говоря о строении Палласова железа, Ф. А. Бредихин ясно видит трудность, связанную с отысканием подходящих условий для образования странной смеси веществ, столь сильно отличающихся по удельному весу, как железо и оливин.

И до настоящего времени проблема происхождения метеоритов не получила вполне удовлетворительного решения. Акад. А. Н. Заварицкий считал, что метеориты, входящие в состав солнечной системы, могли образоваться либо в результате распада некоей планеты, либо вследствие извержений в отдельных ее частях [2]. Так возрождается на основе изучения структуры метеоритов старая гипотеза Ольберса, по которой малые планеты являются обломками более крупного тела, однажды двигавшегося между Марсом и Юпитером. Метеориты, с этой точки зрения, на которой Хладны стоял еще в 1819 г., родственны астероидам, но тогда приходится уже с осторожностью говорить о связи метеоритов с кометами, а следовательно, и с обычными падающими звездами, потому что едва ли так просто удастся объяснить гипотезой Ольберса происхождение комет и, в частности, главной их группы, движущейся по орбитам с очень большими периодами обращения. Может быть, в этом и нет беды, и не нужно связывать находящиеся в наших музеях метеориты с кометами и кометными метеорными потоками, пока не будет надежных доказательств этой связи. До сих пор таких бесспорных доказательств нет.

[167] (Стр. 450). Древние записи о явлениях главных метеорных потоков были собраны Ньютоном в 1863 г., который нашел, что Персеиды наблюдались в Китае с 830 г. и, возможно, даже с 36 г. н. э.

[168] (Стр. 458). Эта хорошо известная точка зрения Скиапарелли на распад комет и образование метеорных потоков была впоследствии оставлена Ф. А. Бредихиным и заменена его собственной теорией происхождения падающих звезд.

---

[1] Chladni. Über den Ursprung der Pallas'schen und anderer ähnlicher Eisenmassen und über einige damit in Verbindung stehende ihr Erscheinungen. Riga, 1794.

[2] Труды первого совещания по вопросам космогонии 16—19 апреля 1951 г. Академия Наук СССР, 1951, стр. 191—204.

[169] (Стр. 458). Приведенный расчет даст только 86 400 географич. миль; разумеется, принятая продолжительность Персеид слишком мала.

[170] (Стр. 458). Надо иметь в виду, что тогда не было почти никаких данных о спектрах комет. Изложенный взгляд принадлежит Скиапарелли.

[171] (Стр. 459). Атмосферное происхождение приписывалось падающим звездам со времен древности. Ольберс высказал взгляд о лунном происхождении метеоров в 1795 г.

[172] (Стр. 459). Речь идет о знаменитой космогонической гипотезе Лапласа.

[173] (Стр. 459). Гипотеза, по которой орбиты периодических комет объясняются захватом большими планетами, выдвинутая Лапласом в 1816 г., поддерживалась многими учеными в XIX веке, в том числе Скиапарелли, и не потеряла своего значения в настоящее время. Последнее, конечно, не относится к основной идее Лапласа, что кометы по своему происхождению чужды солнечной системе.

[174] (Стр. 460). Здесь Ф. А. Бредихин выделяет главную материалистическую идею, лежащую в основе космогонии XVIII века,— о развитии материи во вселенной путем перехода от простых форм существования ко все более сложным.

[175] (Стр. 464). Впоследствии Ф. А. Бредихин первый почувствовал, что подобное образование, изображающее, по мнению Скиапарелли, комету, будет слишком неустойчиво и не сможет просуществовать даже короткое время. Описанная модель обосновывалась в свое время чисто механическими (но недостаточно проверенными) соображениями; она совершенно не годится для объяснения физических процессов, происходящих в ядрах и головах комет. Характерно, что в самые последние годы находятся астрономы (Литтльтон), которые не находят ничего лучшего, как вернуться к этим давно оставленным взглядам Скиапарелли на кометы, совершенно не интересуясь огромными успехами физики комет.

[176] (Стр. 465). Приведенные здесь расчеты дают для плотности в обычных единицах (в отношении к плотности воды) приблизительно 10^{-22}, соответственно 10^{-28}. Последняя величина чересчур мала, чтобы иметь какое-либо значение; что же касается плотности потока Персеид, то расчет недалек от истины и показывает, как ничтожна плотность метеорных потоков.

[177] (Стр. 467). Вейсс предсказал, что метеоры, связанные с кометой Биела, могут наблюдаться в 1872 г., но не в декабре, а около 28 ноября, так как узел кометы Биела переместился к 1852 г. в то положение, которое Земля проходит в названную дату. На следующий год, после появления статьи Ф. А. Бредихина, предсказание Вейсса осуществилось: наблюдался блестящий дождь Биелид 27 ноября 1872 г.

[178] (Стр. 467). Это объяснение спорадических падающих звезд очень вероятно, но следует добавить, что, кроме Земли, и другие планеты могут оказывать такое же действие.

[179] (Стр. 467). В заключительной части статьи о падающих звездах отчетливо проявляется материалистический взгляд Ф. А. Бредихина на природу. Успехи, достигнутые в изучении физического строения небесных тел, служат ему не только для обоснования единства мира и взаимной связи происходящих в нем явлений, но и для того, чтобы подойти к вопросу о происхождении этих тел, о развитии космической материи.

УКАЗАТЕЛЬ ТРУДОВ Ф. А. БРЕДИХИНА, ПОСВЯЩЕННЫХ МЕТЕОРАМ И ПЕРИОДИЧЕСКИМ КОМЕТАМ

1871

1. Падающие звезды. Московские университетские известия, 1871, № 1, неоффиц. отдел, стр. 1—25.

То же. Русский вестник, 1871, т. 91, стр. 149—170.

1875

2. Étoiles filantes appartenant au torrent du mois d'août [1874]. Annales de l'Observatoire de Moscou, vol. II, livr. 1, 1875, pp. 8—13.

То же. Bulletin de la Société des Naturalistes de Moscou, vol. 48, № 3, 1875, pp. 133—142.

1876

3. Étoiles filantes du mois d'août 1875. Annales du l'Observatoire de Moscou, vol. II, livr. 2, 1876, pp. 73—74.

1888

4. Quelques remarques sur l'origine des météores. Astronomische Nachrichten, B. 120, 1888, pp. 249—252.

То же. Bulletin Astronomique, t. V, 1888, pp. 521—523.

1889

5. Quelques mots sur l'origine des comètes périodiques. Astronomische Nachrichten, B. 120, 1889, pp. 331—332.

6. Quelques propriétés remarquables des courants méteoriques. Vierteljahrschrift der Astronomischen Gesellschaft, B. 24, 1889, pp. 273—279.

7. Sur l'origine des étoiles filantes. Bulletin de la Société des Naturalistes de Moscou, nouv. série, vol. III, № 1, 1889, pp. 1—60.

То же. Annales de l'Observatoire de Moscou, série 2, vol. II, livr. 1—2, 1890, pp. 18—72.

То же. Под загл.: Origine des météores cosmiques. В кн.: Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants, St.-Pétersbourg, 1903, pp. 1—55.

8. Sur l'origine des comètes périodiques. Bulletin de la Société des Naturalistes de Moscou, nouv. série, vol. III, № 2, 1889, pp. 181—201.

То же. Annales de l'Observatoire de Moscou, série 2, vol. II, livr. 1—2. 1890, pp. 1—17.

То же. В кн.: Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants, St.-Pétersbourg, 1903, pp. 56—72.

1890

9. Sur les compagnons de la comète 1889 V (Brooks, Juillet 6). Annales le l'Observatoire de Moscou, série 2, vol. II, livr. 1—2, 1890, pp. 158—163. То же. Astronomische Nachrichten, B. 123, 1890, pp. 321—323.

10. Sur les propriétés importantes des courants météoriques. Bulletin de la Société des Naturalistes de Moscou, nouv. série, vol. III, № 4, 1890, pp. 629—652.

То же. Annales de l'Observatoire de Moscou, série 2, vol. II, livr. 1—2, 1890, pp. 135—157.

То же. Под загл.: Propriétés intéressantes des courants météoriques. В кн.: Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants, St.-Pétersbourg, 1903, pp. 73—94.

1891

11. Sur les Perséides observés en Russie en 1890. Bulletin de l'Acad. des Sciences de St.-Pétersbourg, nouv. série, vol. II (XXXIV), № 2, 1891, pp. 231—258.

То же. Под загл.: Perséides observés en Russie en 1890. В кн.: Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants, St.-Pétersbourg, 1903, pp. 95—109.

1892

12. Теория выделения метеоров из комет. Известия Русского астрономического общества, вып. 1, 1892, стр. 41—116.

13. Sur la dispérsion des points radiants des météores. Bulletin de l'Acad. des Sciences de St.-Pétersbourg, nouv. série, vol. III (XXXV), № 2, 1893, pp. 189—216.

То же. Под загл. Sur la dispérsion des radiants. В кн.: Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants, St.-Pétersbourg, 1903, pp. 169—198.

14. Sur les radiants des Andromédides. Bulletin de l'Acad. des Sciences de St.-Pétersbourg, nouv. série, vol. II (XXXIV), № 3, 1892, pp. 419—437.

То же. В кн. Études sur l'origine des météores cosmiques et la formations de leurs courants, St.-Pétersbourg, 1903, pp. 150—168.

1893

15. Sur les Perséides observés en Russie en 1892. Bulletin de l'Acad. des Sciences de St.-Pétersbourg, nouv. série, vol. III (XXXV), № 2, 1893, pp. 457—478.

То же. Под загл.: Perséides observés en Russie en 1892. В кн.: Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants, St.-Pétersbourg, 1903, pp. 110—121.

16. Über die Bieliden der Jahre 1871, 1885 und 1892. Astronomische Nachrichten, B. 132, 1893, pp. 191—192.

17. Über die Bieliden 1892. Astronomische Nachrichten, B. 132, 1893, pp. 159—160.

1894

18. Sur les Perséides observés à Poulkovo en 1893. Известия имп. Академии Наук, серия 5, т. I, № 1, 1894, стр. 33—59.

То же. Под загл. Perséides observés à Poulkovo en 1893. В кн.: Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants, St.-Pétersbourg, 1903, pp. 122—134.

19. Sur les orbites des Biélides. Bulletin de l'Acad. des Sciences de St.-Pétersbourg nouv. série, vol. III (XXXV), 1894, pp. 585—605.

То же. Под загл.: Orbites des Biélides. В кн. Études sur l'origine des météories cosmiques et la formation de leurs courants, St.-Pétersbourg, 1903, pp. 199—221.

20. Sur quelques cas de morcellement des comètes. Bulletin de l'Acad. des Sciences de St.-Pétersbourg, nouv. série, vol. IV (XXXVI), 1894, pp. 415—432.

То же. В кн.: Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants, St.-Pétersbourg, 1903, pp. 222—238.

1895

21. Sur les Perséides observés en Russie en 1894. Известия имп. Академии Наук, серия 5, т. II, № 3, 1895, стр. 139—176.

То же. Под загл.: Perséides observés en Russie en 1894. В кн.: Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants, St.-Pétersbourg, 1903, pp. 135—149.

22. Variations séculaires de l'orbite de la comète 1862 III et de ses orbites dérivées. Известия имп. Академии Наук, серия 5, т. III, № 3, 1895, стр. 251—260; т. IV, № 1, 1896, стр. 31—40.

То же. В кн.: Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants, St.-Pétersbourg, 1903, pp. 239—255.

1896

23. Sur l'origine et les orbites de systéme des Aquarides. Известия имп. Академии Наук, серия 5, т. IV, № 4, 1896, стр. 345—360.

То же. В кн.: Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants, St.-Pétersbourg, 1903, pp. 256—270.

24. Sur quelques systèmes des météores. Известия имп. Академии Наук, серия 5, т. V, № 5, 1896, стр. 337—346.

То же. В кн.: Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants, St.-Pétersbourg, 1903, pp. 271—282.

1900

25. Sur les radiants composés (dits stationnaires) des étoiles filantes. Известия имп. Академии Наук, серия 5, т. XII, № 1, 1900, стр. 95—120; т. XIII, № 2, 1900, стр. 189—220.

То же. Под загл.: Radiants composés (dits stationnaires) des étoiles filantes. В кн.: Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation des leurs courants, St.-Pétersbourg, 1903, pp. 283—311.

26. Schreiben, betreffend die stationären Radianten von Sternschnuppenfallen. Astronomische Nachrichtem, B. 151, 1900, SS. 379—382.

1902

27. Sur le rôle de Jupiter dans la formation des radiants composés. Известия имп. Академии Наук, серия 5, т. XVI, № 3, 1902, стр. 53—95.

То же. В кн.: Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants, St.-Pétersbourg, 1903, pp. 312—354.

28. Sur le rôle de Jupiter dans la formation des radiants simples. Известия имп. Академии Наук, серия 5, т. XVII, № 5, 1902, стр. 167—188.

То же. В кн.: Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants, St.-Pétersbourg, 1903, pp. 355—364.

1903

29. Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants, St.-Pétersbourg, 1903, 364 pp. Содержит труды под № 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28.

1904

30. Déplacement apparent du maximum dans le courant des Perséides. Рукопись. Архив Академии Наук СССР, фонд 705, № 1, лл. 1—17. [Впервые публикуется в настоящем сборнике под загл.: Кажущееся смещение максимума в потоке Персеид, стр. 429—441.]



СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ЭТЮДЫ О ПРОИСХОЖДЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ МЕТЕОРОВ И ОБРАЗОВАНИИ ИХ ПОТОКОВ 7
Происхождение космических метеоров 9
О происхождении периодических комет. 77
Интересные свойства метеорных потоков 95
Персеиды, наблюдавшиеся в России в 1890 г. 122
Персеиды, наблюдавшиеся в России в 1892 г. 139
Персеиды, наблюдавшиеся в Пулкове в 1893 г. 153
Персеиды, наблюдавшиеся в России в 1894 г. 166
О радиантах Андромедид 180
О рассеянии радиантов 201
Орбиты Биелид 238
О некоторых случаях дробления комет. 263
Вековые возмущения кометы 1862 III и ее производных орбит 286
Происхождение и орбиты Акварид 303
О некоторых метеорных системах 322
Сложные (так называемые неподвижные) радианты падающих звезд 336
Об участии Юпитера в образовании сложных радиантов . . 370
Об участии Юпитера в образовании радиантов простых . . 418

КАЖУЩЕЕСЯ СМЕЩЕНИЕ МАКСИМУМА В ПОТОКЕ ПЕРСЕИД 429

ПАДАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ 443

ПРИЛОЖЕНИЯ 469
А. Д. Дубяго. Жизнь и деятельность Ф. А. Бредихина. . . 471
А. Д. Дубяго. Комментарий к книге «Этюды о происхождении космических метеоров и образовании их потоков». . . 537
А. Д. Дубяго. Комментарий к работе «Кажущееся смещение максимума в потоке Персеид». 591
А. Д. Дубяго. Комментарий к статье «Падающие звезды». . . 596
Указатель трудов Ф. А. Бредихина, посвященных метеорам и периодическим кометам 602

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Академии Наук СССР

Редактор издательства *К. П. Гуров*
Технический редактор *Е. В. Зеленкова*
Корректор *Н. Н. Певцова*

РИСО АН СССР № 5344. Т-03591. Издат. № 299
Тип. заказ № 314. Подп. к печ. 7/IX 1954 г.
Формат бум. 70×92 $^1/_{16}$. Бум. л. 19. Печ. л.
44,46 + 5 вкл. Уч.-издат. 31,1+5 вкл. (0,4 уч.-
издат. л.) Тираж 3000.

Цена по прейскуранту 1952 г. 24 р. 20 к.

2-я тип. Издательства Академии Наук СССР
Москва, Шубинский пер., д.10

ИСПРАВЛЕНИЯ И ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
20	4 св.	он	она
81	11 св.	между углами	между дугами
81	12 сн.	β	β'
82	8 св.	T	T'
82	8 сн.	H	H_1
82	7 сн.	H_1	H
83	3 св	j	j^2
142	5 св	3—8	3.8
142	6 св.	4—7	4.7
142	7 св	4—4	4.4
142	8 св	5—7	5.7
142	9 св	4—9	4.9
149	5 св	42°.0	—42°.0
195	1 сн.	☊	☋
208	17 св	tc	fc
209	2 сн.	$\rho \sin \varepsilon$	$\rho \sin \Phi$
212	12 св.	$\sin \varepsilon$	$\cos \varepsilon$
271	1 св.	φ	φ'
271	1 св.	φ'	β'
274	7 сн.	$0^d.2170$	$-0^d.2170$
274	7 сн.	162′.4	—162″.4
276	2 св.	$(p-r)$	$(p'-r)$
301	7 св.	—2	—2″
301	7 св.	—6	—6′
314	17 сн	32°.9	—32°.9
351	18 св.	45′48″.7	45°48′.7

Ф. А. Бредихин

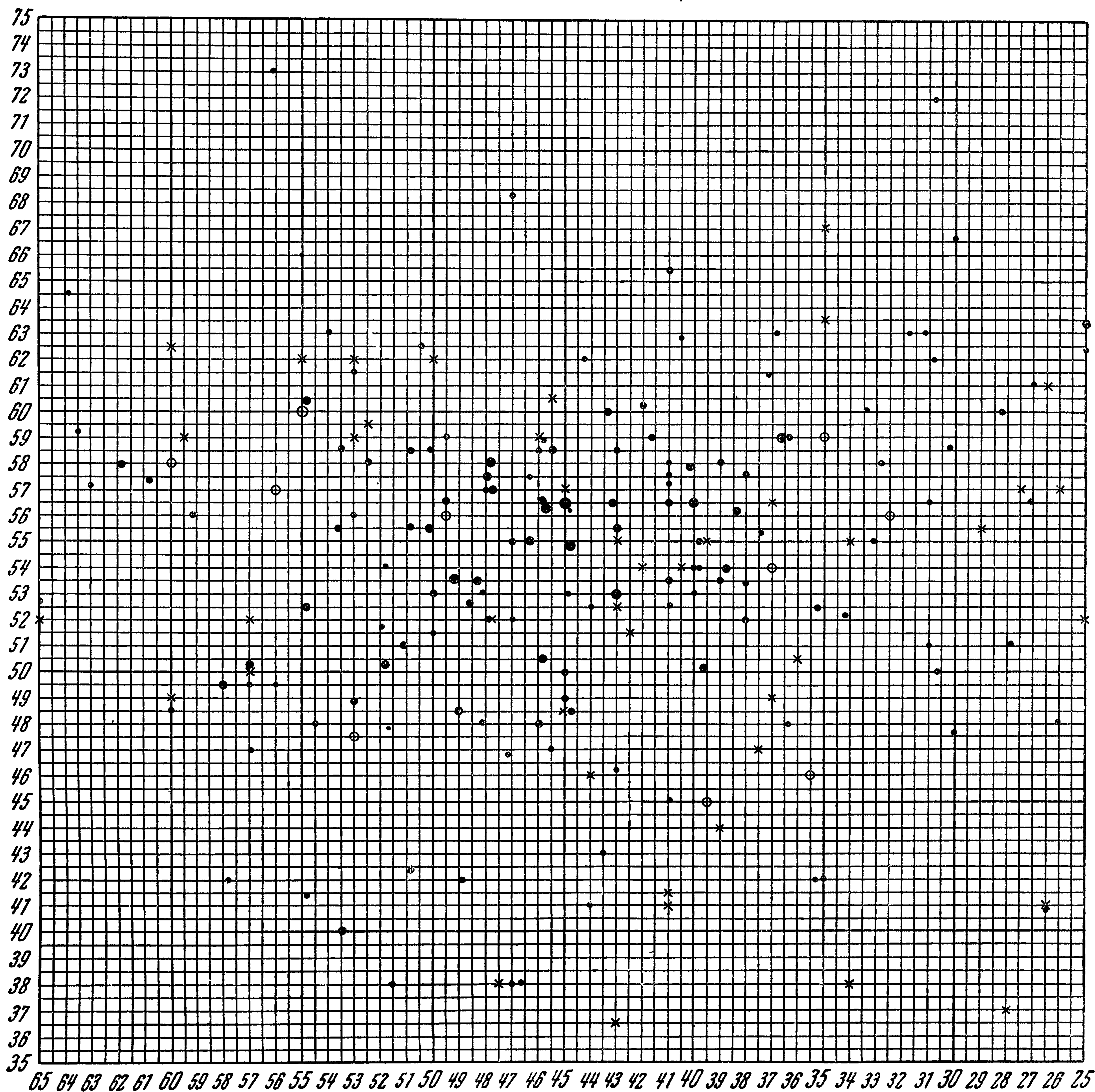

75 74 73 72 71 70 69 68 67 66 65 64 63 62 61 60 59 58 57 56 55 54 53 52 51 50 49 48 47 46 45 44 43 42 41 40 39 38 37 36 35
65 64 63 62 61 60 59 58 57 56 55 54 53 52 51 50 49 48 47 46 45 44 43 42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25

Рис. 6



Ф. А. БРЕДИХИН
1886 г.



Ф. А. БРЕДИХИН
1904 г.

1.

Déplacement apparent du maximum dans le courant des Perséides.

Par Th. Brédikhine.

Présenté le ( ) décembre 1903.

Теоретическій максимумъ метеорнаго потока, происшедшаго отъ данной кометы, долженъ лежать въ плоскости орбиты этой кометы, если пучокъ потоковъ помѣщенъ симметрично относительно сказанной орбиты. Другими словами — геліоцентрическая долгота земли въ эпоху максимума должна быть одинакова съ долготой этого узла, — восходящаго или нисходящаго, — кометной орбиты, въ которомъ имѣетъ мѣсто встрѣча Земли съ пучкомъ. Такъ, напр., потокъ Персеидъ встрѣчаетъ Землю въ нисходящемъ узлѣ орбиты кометы 1862 III. Для среднихъ равноденствій 1900.0 долгота этого нисходящаго узла, годная для нѣсколькихъ лѣтъ впередъ и назадъ, равна 318°.0; слѣдовательно, по теоріи, максимумъ долженъ наблюдаться въ ту эпоху, когда геліоцентрическая долгота Земли будетъ также равна 318°.0, или, что тоже, долгота Солнца будетъ равна долготѣ восходящаго узла кометной орбиты, т.е. 138°.0

На практикѣ это иногда не можетъ быть отмѣчено, напр. въ томъ случаѣ, когда долгота Земли 318°.0 для станціи наблюденія будетъ имѣть мѣсто днемъ. Кромѣ того, опредѣленіе максимума по сравненію количествъ наблюденныхъ въ извѣстный

Первая страница рукописи Ф. А. Бредихина «Кажущееся смещение максимума в потоке Персеид»

17.

Получены данные для 1903 г. (Monthly Not., Vol. LXIV. No 4, pg. 350).
Ден. мешать
Луна мешала несколько наблюдениям. Полнол. авг. 7, 20^h (по Грин.)

„The maximum apparently occured on August 12. Mr. R. M. Dole observed the shower at Jamaica Plain, Mass., and found it less numerous than in 1902. On August 12, 11^{h}20^m to 15^{h}44^m (local time) he counted 111 meteors, and thought the average about 29 per hour."

Здесь ~~и 20~~ 12, 11^h.3 / 12 15.8 } = 12^d, 13^h.5 loc. t. — 4^h.8, Гр. = 8^h.7 т. авг. 12 8^h.7

Для этого времени долг. ☉ = 138°.9

Превратить и моряк. вре-
мена к долгота ☉

Для 1903 г. долг. ☉ по Am. наут. Альманаху

авг. 10	136° 40′	Mass. of Grw	72°	= 4^h.8		
11	137 38	Maine	68	= 4.5	сред. 5^h.4	
12	138 35	Virg.	78	= 5.2		
13	139 33	Me (Mexic)	108	= 7.2		

по Naut. Alm.

Последняя, 17-я страница рукописи Ф. А. Бредихина «Кажущееся смещение максимума в потоке Персеид» с черновыми заметками

24 р. 20 к.